

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК [674.053:621.934]:674.815(043.3)

**Лукаш  
Валерий Тадеушевич**

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ РЕЖИМЫ ОБРАБОТКИ  
ЛАМИНИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ  
ДИСКОВЫМИ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ПИЛАМИ  
С КОМБИНИРОВАННЫМ ПРОФИЛЕМ ЗУБЬЕВ**

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.21.05 – древесиноведение, технология и  
оборудование деревопереработки

Минск 2017

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов.

Научный руководитель: **Гришкевич Александр Александрович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой деревообрабатывающих станков и инструментов учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет»

Официальные оппоненты: **Алифанов Александр Викторович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры оборудования и автоматизации производства учреждения образования «Барановичский государственный университет»

**Шетько Сергей Васильевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и дизайна изделий из древесины учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет»

Оппонирующая организация: Государственное научное учреждение «Физико-технический институт НАН Беларуси»

Защита состоится «24» октября 2017 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.06 в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» по адресу: 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, ауд. 240, корп. 4. Тел. (017) 327-83-41, факс (017) 327-62-17, e-mail: [lmitz@belstu.by](mailto:lmitz@belstu.by).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан «22» сентября 2017 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций  
кандидат технических наук, доцент

С. П. Мохов

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из приоритетных задач, стоящих перед экономикой Республики Беларусь в последние годы, является повышение эффективности деревообрабатывающей отрасли, создание и развитие импортозамещающих производств по выпуску конкурентоспособной продукции. Одним из таких продуктов являются древесно-стружечные плиты (ДСП), объемы производства и потребления которых непрерывно растут. Выпуск плит за последние пять лет увеличился в 1,7 раза, при этом более 50% поставляется на экспорт. Планируемый рост объемов производства к концу 2020 г. по прогнозам концерна «Беллесбумпром» составит более 14%. Количество произведенных в 2016 г. в Республике Беларусь ДСП только государственными предприятиями (ОАО «Витебскдрев», ОАО «Ивацевичдрев», ОАО «Речицадрев») составило более 400 тыс. усл. м<sup>3</sup>, из которых примерно 65% приходится на долю ламинированных древесно-стружечных плит (ДСП-Л).

Высокие физико-механические свойства, устойчивость к механическому, химическому и термическому воздействию, большое разнообразие цветов и фактур защитно-декоративных покрытий, имитирующих текстуру различных материалов (древесины, металла, камня, ткани и др.), предопределили широкое использование ламинированных древесно-стружечных плит в производстве мебели массового потребления. Один из этапов изготовления деталей из ДСП-Л на мебельных предприятиях предусматривает последовательное применение двух способов обработки: раскрой плит на заданные размеры дисковыми пилами и последующее фрезерование кромок с целью удаления дефектов распиловки (сколов, вырывов и т. д.). Операция фрезерования при этом эффективна, однако достаточно ресурсозатратна и трудоемка.

Для раскроя ДСП-Л на деревообрабатывающих предприятиях в настоящее время, как правило, используют дисковые пилы с зубьями из твердого сплава, профиль которых определяет режимы пиления. Однако этот выбор производится до сих пор опытным путем, так как отсутствуют рекомендации по использованию конкретного профиля зубьев пилы и режимов пиления применительно к раскрою ламинированных древесно-стружечных плит, а разработанные режимы обработки необлицованных плит неэффективны в связи с особенностями ДСП-Л. Поэтому актуальной задачей, решению которой посвящено настоящее диссертационное исследование, является разработка режимов пиления ламинированных древесно-стружечных плит и научное обоснование типа комбинированного профиля зубьев дисковых твердосплавных пил, обеспечивающих высокое качество обработки с достижением максимальной производительности оборудования и минимизации энергопотребления. В результате исключается необходимость фрезерования кромок заготовок и повышается эффективность производства.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с крупными научными программами, темами.** Диссертационное исследование соответствует: основным направлениям научной деятельности университета на 2006–2010 гг., утвержденным Министерством образования Республики Беларусь 14 декабря 2005 г. (раздел 5 «Разработка научных основ ресурсо-, энергосберегающих и экологически чистых технологий, оборудования и специальных транспортных систем, обеспечивающих глубокую переработку древесного сырья») и сформированным на основе перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных исследований Республики Беларусь на 2006–2010 гг., утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 512 от 17.05.2005 г.; основным направлениям научной деятельности университета на 2011–2015 гг., утвержденным Министерством образования Республики Беларусь 7 декабря 2010 г. (раздел 2 «Научные основы ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий, транспортных систем и оборудования для переработки древесного сырья на инновационную и экспортоориентированную продукцию, обеспечивающих рациональное использование сырьевых, энергетических и трудовых ресурсов») и сформированным на основе перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 гг., утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 585 от 19.04.2010 г.

Научные исследования по теме диссертации выполнялись на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов БГТУ в соответствии с утвержденными планами республиканских госбюджетных тем ГБ 8-06 «Совершенствование процессов механической обработки древесины и древесных материалов» (раздел 4 «Исследование процессов фрезерования и пиления древесных материалов»), 2006–2010 гг.; ГБ 14-11 «Деревообрабатывающее оборудование и инструменты, обеспечивающие энергоэффективность и ресурсосбережение процессов обработки материалов; алгоритмы управления процессом механической обработки» (раздел 3 «Разработка энерго- и ресурсосберегающих режимов эксплуатации твердосплавных дисковых пил при резании ламинированных древесностружечных плит»), 2011–2015 гг.; а также планом научно-исследовательской работы ГБ 28-026 «Разработка режимов раскрытия ламинированных древесностружечных плит дисковыми пилами» (№ ГР 20080852, 2008–2009 гг.).

**Цель и задачи исследования.** *Цель исследования* – разработать ресурсосберегающие режимы пиления ламинированных древесностружечных плит дисковыми твердосплавными пилами с научно обоснованным комбинированным профилем зубьев, обеспечивающие высокое качество обработки при максимальной производительности оборудования, минимизацию энергопотребления и позволяющие тем самым повысить эффективность производства в следствие экономии сырья и снижения трудозатрат.

Для достижения цели сформулированы и решены следующие задачи:

1. На основании анализа литературных источников и производственного опыта определить основные технологические факторы процесса пиления ламинированных древесно-стружечных плит дисковыми пилами с зубьями из твердого сплава, влияющие на технологическую стойкость режущего инструмента, энергопотребление и качество обработки.

2. Разработать методику проведения исследований и создать экспериментальную установку, позволяющую воспроизводить переменные технологические факторы в заданных диапазонах и фиксировать с необходимой точностью выходные параметры процесса пиления.

3. Аналитически установить зависимость основных параметров микрогеометрии лезвия зуба дисковой твердосплавной пилы от его фактического пути резания и обосновать профиль зубьев дисковой твердосплавной пилы, обеспечивающий наибольшую технологическую стойкость режущего инструмента и наименьшую энергоемкость процесса пиления.

4. Экспериментально установить влияние подачи на зуб, скорости резания и выхода пилы из пропила на технологическую стойкость инструмента и мощность резания при пилении ламинированных древесно-стружечных плит; определить технологические режимы обработки по приоритетному показателю.

5. Провести испытания на производстве разработанных ресурсосберегающих режимов пиления ламинированных древесно-стружечных плит дисковыми твердосплавными пилами, определить их эффективность и рекомендовать к промышленному использованию.

**Объект исследования:** профили зубьев дисковых твердосплавных пил для распиловки облицованных древесных плитных материалов, режимы пиления ламинированных древесно-стружечных плит.

**Предмет исследования:** процесс резания ламинированных древесно-стружечных плит дисковыми пилами с зубьями из твердого сплава.

**Научная новизна:**

1. Разработаны аналитические зависимости радиуса округления режущей кромки и фаски износа по задней поверхности лезвия зуба дисковой твердосплавной пилы от его фактического пути резания, которые могут быть использованы для прогнозирования периода стойкости режущего инструмента с целью обеспечения его максимального ресурса.

2. Экспериментально установлены закономерности влияния подачи на зуб, скорости резания и выхода пилы из пропила на технологическую стойкость инструмента и мощность резания при пилении ламинированных древесно-стружечных плит дисковыми твердосплавными пилами с попеременно-косым, плоско-трапециевидным и плоско-треугольным с вогнутой передней поверхностью профилями зубьев, позволяющие назначать режимы пиления ДСП-Л в зависимости от приоритетности выходного показателя (фактический путь резания, длина обработанной поверхности, энергоемкость процесса резания).

3. Создана оригинальная экспериментальная установка для исследования технологических режимов механической обработки древесных материалов, оснащенная бесконтактным контрольно-измерительным тензометрическим устройством, позволяющим регистрировать силовые показатели процесса пиления.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Аналитические зависимости, позволяющие определять величины радиуса округления режущей кромки и фаски износа по задней поверхности лезвия зуба дисковой твердосплавной пилы в зависимости от его фактического пути резания.

2. Обоснование профилей зубьев дисковой твердосплавной пилы, обеспечивающих максимальную стойкость инструмента по критерию качества обработки и минимальную энергоемкость процесса при пилении ламинированных древесно-стружечных плит.

3. Математические зависимости для расчета фактического пути резания зуба пилы до появления недопустимых сколов на поверхности облицовочного материала при обработке ламинированных древесно-стружечных плит дисковыми пилами с попеременно-косым, плоско-трапециевидным и плоско-треугольным с вогнутой передней поверхностью профилями зубьев.

4. Математические зависимости для расчета начальной и конечной полезных мощностей резания при обработке ламинированных древесно-стружечных плит дисковыми пилами с попеременно-косым, плоско-трапециевидным и плоско-треугольным с вогнутой передней поверхностью профилями зубьев, позволяющие определять и оптимизировать энергетические затраты на процесс резания.

5. Рекомендуемые для практического применения профили зубьев и режимы пиления ламинированных древесно-стружечных плит дисковыми пилами с пластинами твердого сплава, обеспечивающие увеличение стойкости режущего инструмента по критерию качества обработки и снижение энергетических затрат процесса пиления.

6. Результаты производственных испытаний разработанного ресурсосберегающего режима пиления ламинированных древесно-стружечных плит на предприятии ЗАО «Холдинговая компания «Пинскдрев», установивших увеличение технологической стойкости режущего инструмента на 17–30% и уменьшение мощности на резание на 9–13% по сравнению с ранее применяемым режимом.

**Личный вклад соискателя ученой степени.** Диссертация является результатом личной работы автора. Соискатель принимал непосредственное участие в формулировании цели и задач исследования, проведении теоретических изысканий, создании экспериментальной установки для исследования технологических режимов механической обработки древесных материалов, планировании эксперимента и реализации его в лабораторных условиях, обработке и анализе полученных данных, подготовке публикаций по результатам исследований и выступлении с докладами на научных конференциях, апробации результатов

исследований на производстве и внедрении их в учебный процесс. Соавторы публикаций оказывали помощь при проведении экспериментальных исследований, обсуждении полученных результатов, участвовали в анализе и выборе методов решения необходимых задач.

**Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов.**

Результаты диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на научно-технических конференциях, научных семинарах и выставках: II, IV, VI, VIII, IX Международных евразийских симпозиумах «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века» (УГЛТУ, Екатеринбург, 2007, 2009, 2011, 2013, 2014 гг.); Международной научно-практической конференции «Устойчивое управление лесами и рациональное лесопользование» (НВЦ «БелЭкспо», Минск, 2010 г.), X Республиканской научной конференции студентов и аспирантов высших учебных заведений Республики Беларусь НИРС-2005 (БНТУ, Минск, 2006 г.); с 70-ой по 80-ую научно-технических конференциях (БГТУ, Минск, 2006–2016 гг.); Международной специализированной выставке «Лесдревтех» (НВЦ «БелЭкспо», Минск, 2010, 2011, 2012 гг.).

Результаты диссертационной работы апробированы и приняты к практическому использованию на ЧПУП «Мебельная фабрика «Пинскдрев-Адриана» ЗАО «Холдинговая компания «Пинскдрев». Эффективность внедрения подтверждена расчетами технико-экономических показателей. Ожидаемый годовой экономический эффект составляет 153 434,1 тыс. руб. (в ценах 2015 г.).

Результаты проведенных исследований внедрены в учебный процесс на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов УО «Белорусский государственный технологический университет» по дисциплинам «Механическая обработка древесины и древесных материалов, управление процессами резания» учебного плана специальности 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса», «Резание древесины и дереворежущий инструмент» учебного плана специальности 1-46 01 02 «Технология деревообрабатывающих производств».

**Опубликованность результатов диссертации.** По теме диссертации опубликовано 20 научных работ, в том числе 12 статей в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК по специальности, объемом 4,9 авторского листа, 1 статья в других изданиях, 5 материалов научных конференций, тезисы 1 доклада, получен 1 патент на полезную модель.

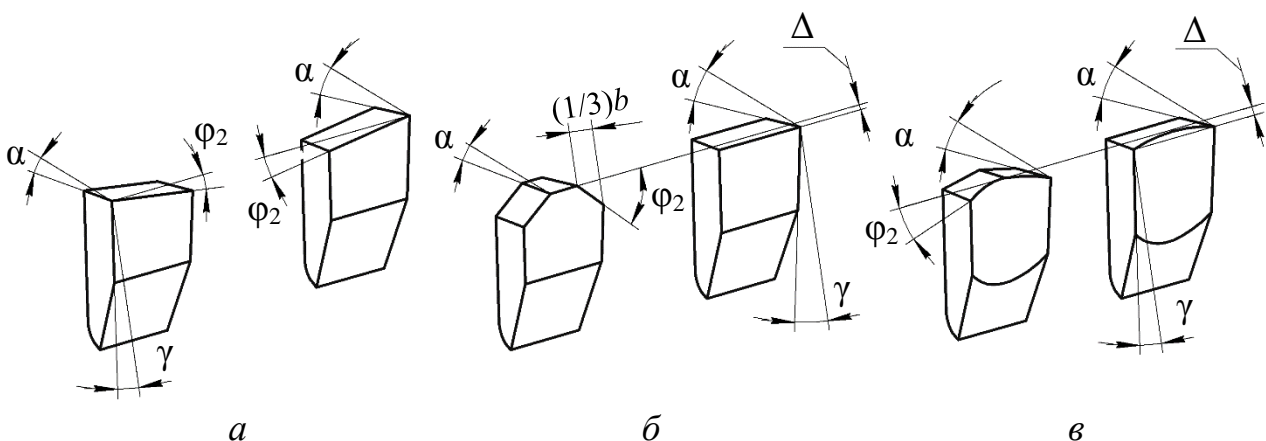
**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из перечня сокращений и условных обозначений, введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Работа изложена на 191 странице, содержит 37 иллюстраций на 34 страницах, 19 таблиц на 22 страницах, 15 приложений на 54 страницах. Библиографический список включает список использованных источников из 112 наименований и список публикаций соискателя из 20 наименований на 11 страницах.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В первой главе проведен аналитический обзор литературных источников по теме диссертации. Рассмотрены особенности пиления ДСП-Л, конструкции применяемого режущего инструмента, отмечены основные недостатки процесса, дана оценка состояния вопроса, обоснована актуальность темы диссертации и необходимость проведения исследований, а также выбрано их направление.

Анализ работы большинства предприятий мебельной отрасли показал, что изготовление деталей из ДСП-Л предусматривает раскрой плит на заданный размер дисковыми пилами и последующее фрезерование торцевых поверхностей заготовок с целью удаления сколов защитно-декоративного покрытия, образующихся в процессе пиления. Данная технология имеет ряд существенных недостатков: расходы на приобретение и эксплуатацию фрезерного оборудования или специализированных станков для обработки кромок деталей, дорогостоящий режущий инструмент и значительные затраты на его подготовку, дополнительное потребление электроэнергии и потери обрабатываемого материала в отходы, что в итоге приводит к увеличению трудоемкости и себестоимости изготовления продукции [20].

Одной из основных причин образования сколов является неправильный выбор конструкции режущего инструмента. Номенклатура выпускаемых дисковых пил сегодня очень широка. На деревообрабатывающих предприятиях для раскроя ДСП-Л используются преимущественно дисковые твердосплавные пилы с комбинированной формой зубьев: попеременно-косым, плоско-трапециевидным и плоско-треугольным с вогнутой передней поверхностью профилями режущих элементов (рисунок 1) [1].



$\gamma$  – передний угол;  $\alpha$  – задний угол;  $\varphi_2$  – угол наклона задней поверхности зуба пилы;  $\Delta$  – разность зубьев по высоте;  $a$  – попеременно-косой;  $b$  – плоско-трапециевидный;  $c$  – плоско-треугольный с вогнутой передней поверхностью

Рисунок 1. – Профили зубьев дисковых твердосплавных пил для распиловки ламинированных древесно-стружечных плит



Выбор дисковой пилы с рациональными конструктивными параметрами и режимов ее работы вызывает у потребителя определенные трудности. Справочной информации, предоставляемой ведущими компаниями, реализующими режущий инструмент на территории Республики Беларусь, недостаточно, а действующий ГОСТ 9769 «Пилы дисковые с твердосплавными пластинами для обработки древесных материалов. Технические условия» устарел и требует уточнения [1, 3, 8, 13].

Изучению отдельных вопросов процесса обработки древесно-стружечных плит резанием посвящены работы ряда ученых: Ю. А. Цуканова, В. В. Амалицкого, Вит. В. Амалицкого, С. П. Букиной, Н. А. Кряжева, В. И. Кравчука, В. К. Дьяконова, О. З. Хуажева, В. И. Любченко, В. А. Косарева, В. А. Зашмарина, Е. Г. Ивановского, В. С. Рыбалко, Д. А. Майснера, С. А. Thielmann, Т. Мелони и др. Анализ работ показал, что исследования профилей зубьев дисковых пил малочисленны, рекомендации по выбору формы зубьев дисковых пил для обработки ламинированных древесно-стружечных плит с учетом качества обработки и стойкости режущих элементов отсутствуют; рекомендации ученых, как и производителей инструмента, относительно режимов пиления ламинированных древесно-стружечных плит не конкретны, имеют достаточно большие расхождения (приводятся диапазоны режимов пиления древесно-стружечных плит, граничные значения которых отличаются в 2–2,5 раза), в некоторых случаях данные противоречат друг другу. Более того, результаты большинства ранее выполненных исследований справедливы главным образом для процесса пиления необлицованных древесно-стружечных плит, поэтому применять их к обработке ДСП-Л некорректно [4].

Указанные обстоятельства не позволяют получать на производстве стабильно высокое качество распила ламинированных древесно-стружечных плит при максимальной технологической стойкости режущего инструмента [1, 3]. Это и предопределило необходимость проведения исследований режимов пиления ДСП-Л применительно к заданному профилю зубьев дисковой пилы.

Разработка режимов пиления и обоснование выбора профиля зубьев дисковых пил позволит прогнозировать продолжительность работы инструмента до потери его режущей способности и своевременно производить его замену, планировать работу инструментальных служб деревообрабатывающих предприятий и отделов снабжения, а обеспечение качественного распила ДСП-Л позволит исключить из технологического процесса изготовления мебельной продукции процесс фрезерования кромок. Это существенно повысит эффективность обработки ДСП-Л на фоне роста объемов производства и потребления данного древесного материала в последние годы.

На основании проведенного анализа сформулирована цель диссертационного исследования и определены основные задачи для ее реализации.

**Во второй главе** описана методика проведения научных исследований. В соответствии с выбранным объектом исследования на инструментальном предприятии «ФАВА» (Польша) были изготовлены дисковые пилы с попеременно-косым, плоско-трапециевидным и плоско-треугольным с вогнутой передней поверхностью профилями зубьев (рисунок 1). Для всех партий были приняты следующие геометрические параметры: наружный диаметр пилы  $D = 350$  мм, ширина зуба пилы  $b = 3,2$  мм, число зубьев  $z = 36$  шт., передний угол  $\gamma = 10^\circ$ , задний угол  $\alpha = 15^\circ$ , угол заточки  $\beta = 65^\circ$ . В качестве материала режущих зубьев был использован металлокерамический твердый сплав марки MG06 (CERATIZIT), соответствующий по международной классификации ISO группе K01, отечественной – ВКЗОМ. Выбор материала был сделан на основании результатов исследований химического состава и структуры зубьев дисковых пил ряда ведущих зарубежных производителей на сканирующем электронном микроскопе JSM-5610 LV, оснащённом системой химического микроанализа EDX JED-2210 (JEOL, Япония).

Подготовка дисковых пил осуществлялась на полуавтоматическом заточном станке модели СНР есо («Vollmer», Германия) в соответствии с рекомендациями производителей инструмента: величина съема твердого сплава по передней поверхности зуба составляла 0,06 мм, по задней – 0,18 мм, охлаждение – водной эмульсией.

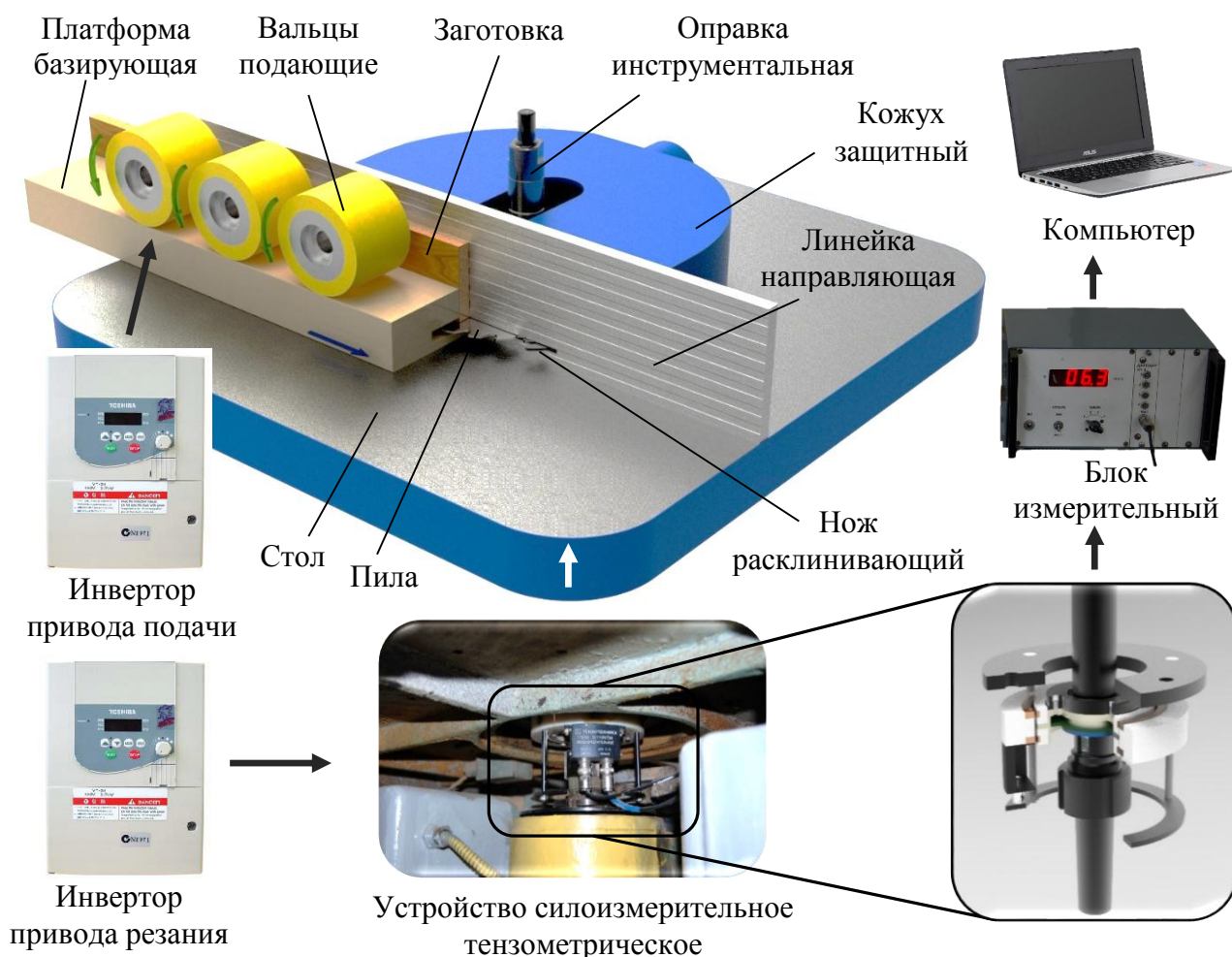
В качестве обрабатываемого материала использовались ламинированные древесно-стружечные плиты производства концерна «Kronospan» толщиной 25 мм и средней плотностью 640 кг/м<sup>3</sup>.

Для выполнения в лабораторных условиях экспериментальных исследований процесса пиления непосредственно автором совместно с сотрудниками кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов БГТУ разработана и создана экспериментальная установка на базе промышленного деревообрабатывающего станка модели ФСА (рисунок 2). Инструментальная оправка шпинделя установки оснащена бесконтактным силоизмерительным тензометрическим устройством модели ТТ4010, позволяющим определять значения крутящего и изгибающего моментов, осевой и радиальной сил, действующих на шпиндель с режущим инструментом. Приводы механизмов резания и подачи обрабатываемого материала обеспечивают бесступенчатое изменение необходимых технологических параметров в заданных диапазонах посредством установленных инверторов Toshiba VF-FS1 [2, 14].

На основании проведенного анализа литературных источников и производственного опыта в качестве переменных факторов исследования приняты подача на зуб  $S_z$ , мм, скорость резания  $V$ , м/с, выход пилы из пропила  $a$ , мм, диапазоны варьирования которых составляли:  $S_z = 0,02\text{--}0,06$  мм,  $V = 60\text{--}80$  м/с,  $a = 10\text{--}40$  мм.

В качестве выходных (оценочных) показателей процесса пиления ДСП-Л приняты технологическая стойкость режущего инструмента, выраженная величиной фактического пути резания зуба пилы до появления недопустимых сколов

на поверхности облицовочного материала  $L$ , м; расход мощности, потребляемой на резание острым инструментом (далее – начальная мощность резания)  $P_0$ , Вт, и при потере качества обработки (далее – конечная мощность резания)  $P_{кон}$ , Вт.

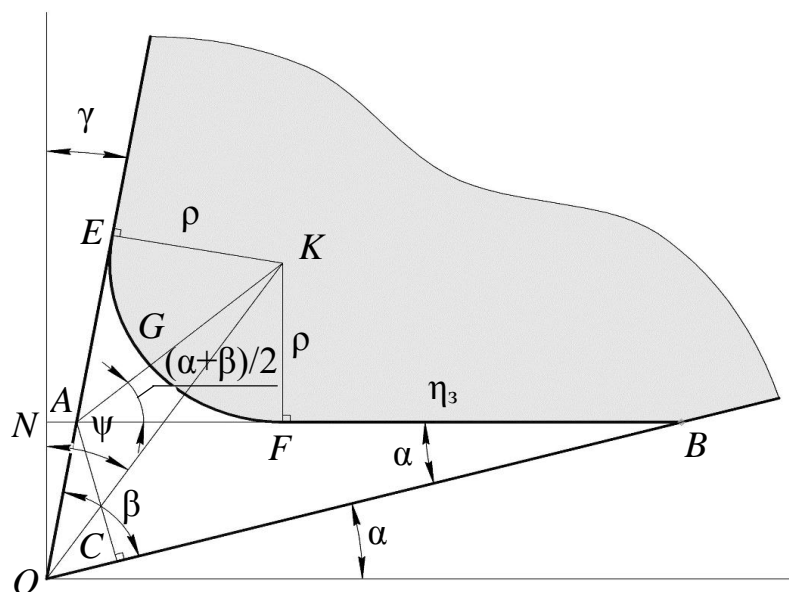


**Рисунок 2. – Принципиальная схема экспериментальной установки**

Основанием для завершения эксперимента являлось образование сколов облицовочного материала размерами более 0,3 мм. Сколы измеряли по пласти плиты в направлении, перпендикулярном плоскости пропила, штангенциркулем с цифровым отсчетным устройством с шагом дискретности 0,01 мм. Значения начальной  $P_0$ , Вт, и конечной  $P_{кон}$ , Вт, мощностей резания рассчитывали по величине крутящего момента на шпинделе экспериментальной установки [19].

Для реализации методической сетки опытов применен метод математического планирования эксперимента. Для получения уравнений регрессии, описывающих выходные характеристики процесса пиления ДСП-Л, использован  $B$ -план второго порядка. Для выбранного трехфакторного  $B_3$ -плана эксперимента при уровне значимости регрессионной модели  $q = 0,05$  количество повторений опытов составило  $n = 5$ . Экспериментальные данные обрабатывались статистическими методами. В качестве среды для выполнения математических расчетов использовался функциональный пакет программ Excel, MathCad и Maple.

**Третья глава** посвящена теоретическим исследованиям особенностей взаимодействия зубьев дисковых твердосплавных пил с обрабатываемым материалом. В результате выполненного автором геометрического моделирования процесса затупления лезвия режущего инструмента (рисунок 3) разработаны аналитические зависимости для определения величин радиуса округления режущей кромки  $\rho$ , мкм, и фаски износа по задней поверхности лезвия  $\eta_3$ , мкм, зуба дисковой твердосплавной пилы (формулы (1) и (2)).



**Рисунок 3. – Расчетная схема к определению параметров поперечной микрогеометрии режущего элемента**

Впервые полученные математические зависимости  $\rho = f(\varepsilon, L, \alpha, \beta, \gamma, \psi)$  и  $\eta_3 = f(\varepsilon, L, \alpha, \beta, \gamma, \psi)$  имеют следующий вид:

$$\rho = \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot L}{\frac{\sin(\alpha + \beta)}{2 \sin \beta} \cdot \sin \alpha + A^2 \cdot \left( \operatorname{ctg} \frac{\alpha + \beta}{2} - \pi \cdot \frac{180 - \alpha - \beta}{360} \right)}} \times A; \quad (1)$$

$$\eta_3 = \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot L}{\frac{\sin(\alpha + \beta)}{2 \sin \beta} \cdot \sin \alpha + A^2 \cdot \left( \operatorname{ctg} \left( \frac{\alpha + \beta}{2} \right) - \pi \cdot \frac{180 - \alpha - \beta}{360} \right)}} - \rho \cdot \operatorname{ctg} \left( \frac{\alpha + \beta}{2} \right) \quad (2)$$

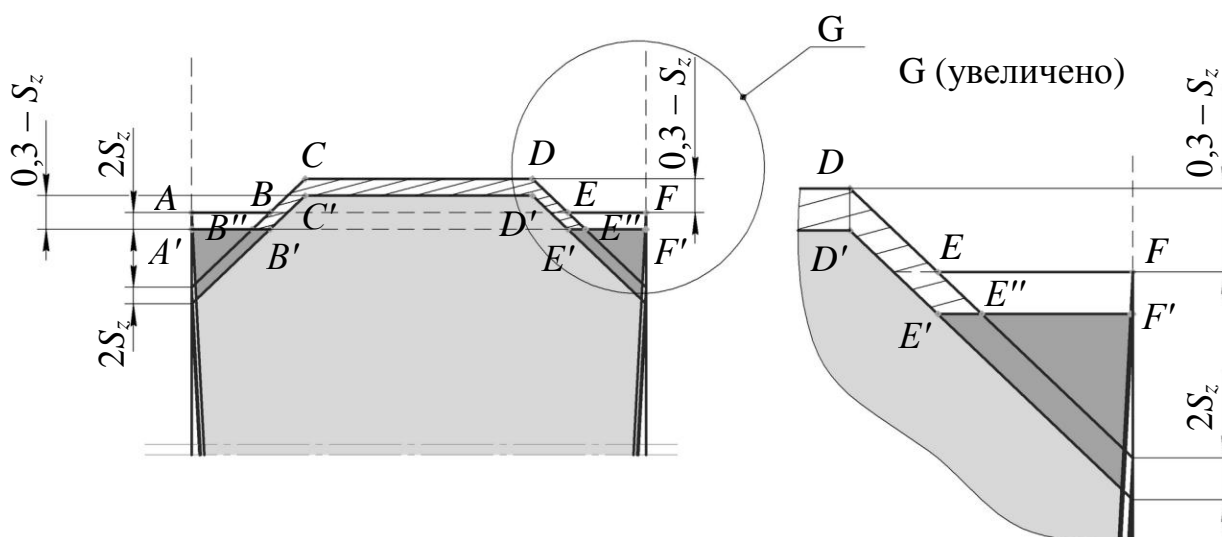
где  $\varepsilon$  – интенсивность изнашивания материала режущего элемента, мкм<sup>2</sup>/м;  
 $L$  – фактический путь резания, м;  $\alpha$  – задний угол, град;  $\beta$  – угол заострения, град;  
 $A = \frac{\sin(\alpha + \beta) \cdot \sin \alpha \cdot \sin(\psi - \gamma)}{(\cos \psi - \sin(\psi - \gamma)) \cdot \sin \beta}$ ;  $\psi$  – угол между нормалью к плоскости резания и

линией, проходящей через центр окружности с радиусом, равным радиусу округления режущей кромки, град;  $\gamma$  – передний угол, град.

Зависимости позволяют определять величины параметров поперечной микрогеометрии режущего элемента с заданными угловыми характеристиками ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) в любой момент фактического пути резания  $L$  на основании известного значения интенсивности изнашивания материала лезвия  $\varepsilon$ . В сочетании с известными критическими значениями параметров  $\rho$  и  $\eta_3$  разработанные аналитические зависимости позволяют прогнозировать ресурс работы дереворежущего инструмента при обработке различных древесных материалов и оптимизировать процесс его заточки [11].

Отличительным преимуществом полученных зависимостей по отношению к ранее известным является их универсальный характер: возможность прогнозирования характера износа лезвия режущего инструмента с различными угловыми параметрами при обработке различных древесных материалов.

Для оценки технологической стойкости исследуемых профилей зубьев был выполнен геометрический анализ формирования пропила дисковой пилой с плоско-трапецевидным профилем зубьев, схема которого представлена на рисунке 4.



**Рисунок 4. – Схема формирования пропила дисковой твердосплавной пилой с плоско-трапецевидным профилем зубьев**

Рассматриваемый профиль представляет собой комбинацию зубьев с плоской и трапецевидной формой. Последние конструктивно расположены на 0,3 мм выше зубьев с плоской задней поверхностью, что позволяет им формировать пропил, удаляя основной объем материала сечением  $S_{B'B''CDE''E'D'C'}$ . Зубья с плоским профилем не несут существенной нагрузки и предназначены для окончательного чистового формирования стенок пропила ( $S_{A'ABB''}$  и  $S_{F'FEE''}$ ), они определяют качество обработки. Процентное соотношение объема материала, удаляемого каждым зубом в паре «трапецевидный/плоский», составляет 60/40. Благодаря

такому распределению острые углы плоских зубьев дольше сохраняют свою режущую способность и, соответственно, обеспечивают стойкость инструмента между переточками.

Аналогичный геометрический анализ был выполнен для попеременно-косоугольного и плоско-треугольного зубьев с вогнутой передней поверхностью. Результаты исследования показали, что плоско-трапецевидный профиль зубьев дисковых твердосплавных пил будет обеспечивать при пилении ламинированных древесно-стружечных плит наибольшую технологическую стойкость инструмента, а попеременно-косой профиль – наименьшую энергоемкость процесса по сравнению с другими профилями за счет равномерного (50/50) распределения объема удаляемого материала каждым зубом и наличия острых контурных углов при вершине, образованных в результате наклона задней поверхности зуба. Данная гипотеза была в дальнейшем подтверждена результатами проведенных экспериментальных исследований.

**В четвертой главе** приведены результаты экспериментальных исследований процесса пиления ламинированных древесно-стружечных плит, выполненных в соответствии с принятой ранее методикой. В результате статистической обработки полученных данных разработаны математические зависимости фактического пути резания зуба пилы до появления недопустимых сколов на поверхности облицовочного материала и потребляемой мощности резания от подачи на зуб  $S_z$ , скорости резания  $V$  и выхода пилы из пропила  $a$  для исследуемых профилей зубьев дисковых твердосплавных пил. Адекватность полученных математических моделей подтверждена проверкой по критерию Фишера с доверительной вероятностью  $p = 95\%$ .

Математические модели в натуральном выражении для плоско-трапецевидного профиля зубьев дисковых пил [6, 7, 16] имеют следующий вид:

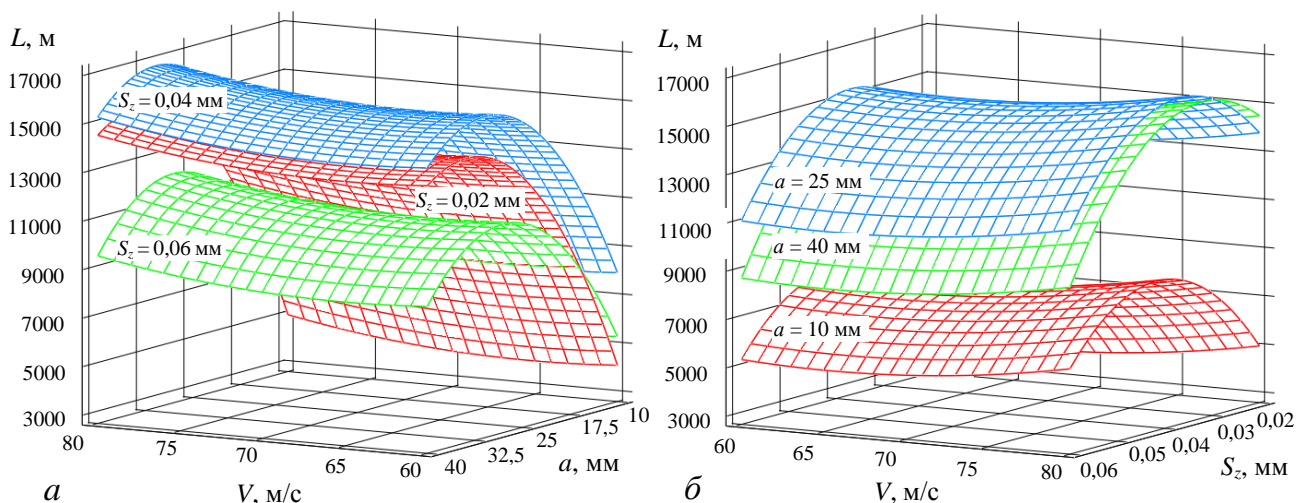
$$L = 1854,55 + 725818,33 \cdot S_z - 598,47 \cdot V + 1322,59 \cdot a - 8060312,50 \cdot S_z^2 + 4,58 \cdot V^2 - 18,04 \cdot a^2 - 5133,33 \cdot S_z \cdot a; \quad (3)$$

$$P_o = -1601,60 - 2925,70 \cdot S_z + 50,42 \cdot V - 5,93 \cdot a - 0,36 \cdot V^2 + 0,11 \cdot a^2 + 195,71 \cdot S_z \cdot V - 41,18 \cdot S_z \cdot a; \quad (4)$$

$$P_{\text{кон}} = 296,97 + 1688,97 \cdot S_z - 1,84 \cdot V - 14,88 \cdot a - 62403,85 \cdot S_z^2 + 0,18 \cdot a^2 + 233,75 \cdot S_z \cdot V - 69,17 \cdot S_z \cdot a + 0,08 \cdot V \cdot a. \quad (5)$$

Аналогично были получены математические модели для попеременно-косоугольного [5, 7, 15] и плоско-треугольного с вогнутой передней поверхностью [9, 10, 17, 18] профилей зубьев.

Анализ разработанных математических моделей проведен на основе построения их трехмерных графических отображений. На рисунке 5 приведены поверхности отклика функции фактического пути резания зуба пилы до появления недопустимых сколов на поверхности облицовочного материала  $L$  от переменных технологических факторов  $S_z$ ,  $V$  и  $a$  для пил с плоско-трапецевидным профилем зубьев. Для попеременно косога и плоско-треугольного с вогнутой передней поверхностью профилей зубьев графические зависимости имеют идентичный характер, отличие состоит в численных значениях.



$$a - S_z = \text{const}; \quad b - a = \text{const}$$

**Рисунок 5. – Поверхности отклика функции фактического пути резания одного зуба пилы при пилении ДСП-Л дисковыми пилами с плоско-трапецевидным профилем зубьев**

Из рисунка 5 следует, что максимальные значения фактического пути резания зуба пилы  $L$  наблюдаются при подаче на зуб  $0,035 \text{ мм} \leq S_z \leq 0,045 \text{ мм}$ , скорости резания  $V = 80 \text{ м/с}$  и выходе пилы из пропила  $30 \text{ мм} \leq a \leq 35 \text{ мм}$ .

Для оценки эффективности применения режимов пиления на производстве технологическую стойкость режущего инструмента выражают не через фактический путь резания зуба пилы  $L$ , м, а через длину обработанной поверхности до появления дефектов обработки  $S$ , пог. м, значение которой определяют по формуле (6)

$$S = \frac{L \cdot S_z \cdot z}{l}, \quad (6)$$

где  $L$  – фактический путь резания зуба пилы до появления недопустимых сколов на поверхности облицовочного материала, м;  $S_z$  – подача на зуб, мм;  $z$  – количество

зубьев пилы, для которой выполняется расчет, шт.;  $l$  – длина дуги контакта зуба пилы с обрабатываемым материалом, мм.

При оптимизации моделей, определяющих мощность резания, использована величина энергоемкости процесса резания  $W$ , Вт·ч/пог. м, значение которой определяется как отношение работы, затраченной на резание  $A$ , к длине обработанной поверхности до появления дефектов обработки  $S$ .

$$W = \frac{A}{S} = \frac{P_0 + P_{\text{кон}}}{2 \cdot V_s \cdot 60}, \quad (7)$$

где  $V_s$  – скорость подачи обрабатываемого материала, м/мин.

С помощью математического пакета MathCad были определены экстремумы уравнений регрессии по приоритетным показателям  $L$ ,  $S$  и  $W$ . Результаты оптимизации (таблица 1) подтвердили выдвинутые ранее предположения о том, что плоско-трапецевидный профиль зубьев дисковых пил при любых условиях обработки в пределах уровня варьирования переменных факторов обладает наибольшей технологической стойкостью, а попеременно-косой является наименее энергоемким.

Таблица 1. – Режимы пиления ДСП-Л по приоритетному показателю

Приоритетный показатель	Максимальное значение	Значения переменных факторов, устанавливающих рациональный режим обработки			Профиль зубьев
		$S_z$ , мм	$V$ , м/с	$a$ , мм	
Наибольший фактический путь резания $L_{\text{max}}$ , м	1987	0,041	80	37	Попеременно-косой
	16 920	0,035	80	32	Плоско-трапецевидный
	12 130	0,045	80	27	Плоско-треугольный с вогнутой передней поверхностью
Наибольшая длина обработанной поверхности $S_{\text{max}}$ , пог. м	106,4	0,06	80	40	Попеременно-косой
	721,5	0,05	80	33	Плоско-трапецевидный
	595,0	0,06	80	30	Плоско-треугольный с вогнутой передней поверхностью
Минимальная энергоемкость процесса резания $W_{\text{min}}$ , Вт·ч/пог. м	1,131	0,06	60	40	Попеременно-косой
	1,320	0,06	60	39	Плоско-трапецевидный
	1,472	0,06	80	40	Плоско-треугольный с вогнутой передней поверхностью

Максимальные значения длины обработанной поверхности до появления дефектов обработки, приведенные в таблице 1, получены для дисковых пил с количеством зубьев  $z = 36$  шт. Величина  $S$  для дисковых пил с другим



количеством режущих элементов будет пропорциональна отношению  $z/36$ , а значения оптимальных технологических параметров будут справедливы для любого числа зубьев.

Из таблицы 1 следует, что по совокупности основных показателей преимуществом обладает плоско-трапециевидный профиль зубьев. Данный профиль зубьев был принят для проведения производственных испытаний с целью определения эффективности разработанного режима пиления ДСП-Л.

**В пятой главе** приведены результаты производственных испытаний разработанного режима пиления ламинированных древесно-стружечных плит на филиале ведущего деревообрабатывающего объединения страны ЗАО «Холдинговая компания «Пинскдрев» ЧПУП «Мебельная фабрика «Пинскдрев-Адриана». Технология выпуска деталей из ДСП-Л на предприятии предусматривала раскрой плит на заданный размер дисковыми твердосплавными пилами на форматном станке с ЧПУ и последующую обработку торцевых поверхностей заготовок фрезерным инструментом с целью удаления сколов, вырывов и т. д. Базовый режим пиления (скорость резания  $V = 75$  м/с, подача на зуб  $S_z = 0,06$  мм и выход пилы из пропила  $a = 10$  мм) позволял получать в среднем 1000–1200 погонных метров пропила, при этом величина сколов на поверхности плиты составляла 1–1,5 мм, что было сопоставимо с припуском на ее дальнейшую обработку фрезерованием.

При проведении испытаний раскрой плит осуществляли на разработанном режиме: подача на зуб  $S_z = 0,06$  мм ( $V_s = 18$  м/мин), скорость резания  $V = 80$  м/с ( $n = 4365$  мин<sup>-1</sup>), выход пилы из пропила  $a = 31,5$  мм. В качестве режущего инструмента использовали дисковые твердосплавные пилы диаметром 350 мм с зубьями плоско-трапециевидного профиля в количестве 72 шт. С целью исключения случайных факторов пилы были взяты из одной партии. В ходе испытаний фиксировали суммарную длину обработанной поверхности до появления сколов облицовочного материала и мощность, потребляемую на резание.

Результаты проведенных испытаний показали увеличение наработки режущего инструмента между переточками на 17–30% (до 1300–1400 пог. м) и снижение мощности, потребляемой на резание, на 9–13%. Отсутствие на кромках полученных деталей сколов облицовочного материала величиной более 0,3 мм позволило отказаться от операции их последующего фрезерования, а также увеличить коэффициент заполнения карты раскроя плит на заготовки малых форматов в среднем на 1–3%.

Эффективность от внедрения достигнута за счет экономии на эксплуатационных текущих затратах (на режущий инструмент, на электрическую энергию, экономию сырья) в ценах и нормах 2015 г. Совокупный ожидаемый годовой экономический эффект при использовании рекомендованных режимов пиления ламинированных древесно-стружечных плит составляет 153 434,1 тыс. руб. [12].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Установлено, что основными факторами, влияющими на технологическую стойкость режущего инструмента, расход мощности на резание и качество обработки при пилении ДСП-Л, являются: профиль зубьев дисковых твердосплавных пил, подача на зуб  $S_z$ , мм, скорость резания  $V$ , м/с и выход пилы из пропила  $a$ , мм [1, 3, 4, 20].

2. Разработана методика проведения экспериментальных исследований режимов пиления ДСП-Л дисковыми твердосплавными пилами с попеременно-косым, плоско-трапециевидным и плоско-треугольным с вогнутой передней поверхностью профилями зубьев; на базе промышленного деревообрабатывающего станка создана оригинальная экспериментальная установка, позволяющая воспроизводить значения переменных технологических факторов в требуемых диапазонах ( $S_z = 0,02–0,06$  мм,  $V = 60–80$  м/с,  $a = 10–40$  мм) и регистрировать величину крутящего момента на инструментальном шпинделе для расчета мощности, потребляемой на резание [2, 14, 19].

3. Впервые разработаны аналитические зависимости величин радиуса округления режущей кромки и фаски износа по задней поверхности лезвия зуба пилы от его фактического пути резания, позволяющие прогнозировать период стойкости и ресурс режущего инструмента. На основании результатов теоретических исследований установлено, что наибольшую технологическую стойкость инструмента при пилении ламинированных древесно-стружечных плит обеспечивает плоско-трапециевидный профиль зубьев дисковых твердосплавных пил, а наименьшую энергоемкость процесса пиления – попеременно-косой профиль зубьев [11].

4. Впервые экспериментально установлены зависимости технологической стойкости дисковых твердосплавных пил, а также мощности, потребляемой на резание, от подачи на зуб, скорости резания, выхода пилы из пропила и профиля зубьев, позволившие разработать рациональные режимы пиления ДСП-Л в зависимости от приоритетности выходного показателя [5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 15, 16, 17, 18]:

– наибольший фактический путь резания: плоско-трапециевидный профиль зубьев,  $S_z = 0,035$  мм,  $V = 80$  м/с,  $a = 32$  мм;

– наибольшая длина обработанной поверхности: плоско-трапециевидный профиль зубьев,  $S_z = 0,05$  мм,  $V = 80$  м/с,  $a = 33$  мм;

– наименьшая энергоемкость процесса пиления: попеременно-косой профиль зубьев,  $S_z = 0,06$  мм,  $V = 60$  м/с,  $a = 40$  мм.

5. Испытания разработанного режима пиления ДСП-Л дисковыми твердосплавными пилами с научно обоснованным комбинированным профилем зубьев в условиях производства ЗАО «Холдинговая компания «Пинскдрев» показали

увеличение технологической стойкости режущего инструмента на 17–30% и уменьшение мощности на резание на 9–13% с обеспечением высокого качества обработки, что позволило в результате отказаться от необходимости фрезерования кромок и повысить эффективность производства за счет экономии материальных и трудовых ресурсов [12].

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

Разработанные ресурсосберегающие режимы пиления ламинированных древесно-стружечных плит рекомендуются к использованию на предприятиях деревообрабатывающей отрасли с целью повышения эффективности распиловки ламинированных древесно-стружечных плит дисковыми твердосплавными пилами.

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ**

### **Статьи в научных журналах и сборниках, входящих в перечень ВАК**

1. Лукаш, В. Т. Обзор конструкций дисковых пил для распиловки древесины и древесных материалов / В. Т. Лукаш // Труды БГТУ. Сер II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 167–171.

2. Кравченко, А. С. Применение силоизмерительного телеметрического устройства для исследования процессов пиления древесных материалов / А. С. Кравченко, В. Т. Лукаш // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 172–174.

3. Лукаш, В. Т. Особенности обработки облицованных древесных плитных материалов дисковыми пилами / В. Т. Лукаш // Труды БГТУ. Сер II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2007. – Вып. XV. – С. 217–221.

4. Лукаш, В. Т. Влияние подачи на резец на технологическую стойкость режущего инструмента при пилении ламинированных ДСтП / В. Т. Лукаш, С. А. Гриневич // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 230–234.

5. Лукаш, В. Т. Технологическая стойкость и начальная мощность при обработке ламинированных ДСтП пилами с попеременно-косым профилем зубьев / В. Т. Лукаш, С. А. Гриневич // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII. – С. 317–321.

6. Лукаш, В. Т. Технологическая стойкость и начальная мощность при обработке ламинированных ДСтП пилами с плоско-трапециевидным профилем зубьев / В. Т. Лукаш, С. А. Гриневич // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 234–239.

7. Лукаш, В. Т. Влияние профиля зубьев дисковых пил с пластинами твердого сплава на технологическую стойкость и потребляемую мощность при обработке ламинированных древесностружечных плит (ЛДСтП) // В. Т. Лукаш, С. А. Гриневич // Труды БГТУ. – 2011. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 256–262.

8. Лукаш, В. Т. Удельная работа резания при раскрое ламинированных древесностружечных плит (ЛДСП) дисковыми пилами / В. Т. Лукаш, С. А. Гриневич, А. А. Гришкевич, А. Н. Угляница // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 159–162.

9. Лукаш, В. Т. Технологическая стойкость дисковых пил с плоско-треугольным профилем зубьев с вогнутой передней гранью при раскрое ламинированных древесностружечных плит / В. Т. Лукаш, С. А. Гриневич // Труды БГТУ. – 2014. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 167–170.

10. Лукаш, В. Т. Полезная мощность при раскрое ламинированных древесностружечных плит (ЛДСП) дисковыми пилами с плоско-треугольным профилем зубьев с вогнутой передней гранью / В. Т. Лукаш, С. А. Гриневич, А. А. Гришкевич // Труды БГТУ. – 2014. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 163–166.

11. Гриневич, С. А. Определение максимального ресурса твердосплавных дисковых пил при обработке ламинированных древесностружечных плит / С. А. Гриневич, В. Т. Лукаш // Труды БГТУ. – 2015. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 275–279.

12. Лукаш, В. Т. Результаты внедрения рациональных режимов пиления при раскрое ламинированных древесно-стружечных плит в ЗАО «Холдинговая компания «Пинскдрев» / В. Т. Лукаш // Труды БГТУ. – 2016. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 285–288.

#### **Статьи в других изданиях**

13. Лукаш, В. Т. Удельная работа резания при раскрое ламинированных древесностружечных плит (ЛДСП) дисковыми пилами / В. Т. Лукаш, С. А. Гриневич, А. А. Гришкевич // Леса России и хозяйство в них – 2013. – № 4 (47). – С. 74–78.

#### **Материалы научных конференций**

14. Лукаш, В. Т. Телеметрическое устройство для исследования процессов пиления древесины и древесных материалов / В. Т. Лукаш, А. А. Гришкевич // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды II Междунар. евраз. симпоз., Екатеринбург, 2–5 окт. 2007 г. / Урал. гос. лесотехн. ун-т; под ред. В. Г. Новоселова. – Екатеринбург, 2007. – С. 234–238.

15. Лукаш, В. Т. Исследование технологической стойкости твердосплавных дисковых пил с попеременно-косым профилем зубьев при обработке ламинированных древесностружечных плит (ДСП) / В. Т. Лукаш, С. А. Гриневич // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды IV Междунар. евраз. симпоз., Екатеринбург, 29 сент. – 2 окт. 2009 г. / Урал. гос. лесотехн. ун-т; под ред. В. Г. Новоселова. – Екатеринбург, 2009. – С. 308–313.

16. Лукаш, В. Т. Сравнительный анализ влияния профиля зубьев твердосплавных дисковых пил на технологическую стойкость и мощность при раскрое

ламинированных древесностружечных плит / В. Т. Лукаш, С. А. Гриневич // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды VI Междунар. евраз. симпоз., Екатеринбург, 17–20 мая 2011 г. / Урал. гос. лесотехн. ун-т; под ред. В. Г. Новоселова. – Екатеринбург, 2011. – С. 286–294.

17. Лукаш, В. Т. Мощность пиления ламинированных древесностружечных плит твердосплавными дисковыми пилами с плоско-треугольным профилем зубьев и вогнутой передней гранью / В. Т. Лукаш, С. А. Гриневич, А. А. Гришкевич // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды IX Междунар. евраз. симпоз., Екатеринбург, 23–25 сент. 2014 г. / Урал. гос. лесотехн. ун-т; под ред. В. Г. Новоселова. – Екатеринбург, 2014. – С. 164–170.

18. Лукаш, В. Т. Работоспособность твердосплавных дисковых пил с плоско-треугольным профилем зубьев и вогнутой передней гранью при обработке ламинированных древесностружечных плит по критерию качества / В. Т. Лукаш, С. А. Гриневич // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды IX Междунар. евраз. симпоз., Екатеринбург, 23–25 сент. 2014 г. / Урал. гос. лесотехн. ун-т; под ред. В. Г. Новоселова. – Екатеринбург, 2014. – С. 170–175.

#### **Тезисы докладов**

19. Лукаш, В. Т. Прямой метод измерения сил резания, возникающих при пилении ламинированных ДСтП / В. Т. Лукаш, А. С. Кравченко // НИРС-2005: материалы X Респ. науч. конф. студ. и асп. высш. учеб. завед. Респ. Беларусь, Минск, 14–16 фев. 2006 г.: в 3 ч. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: А. Г. Захаров [и др.]. – Минск, 2006. – Ч. 2. – С. 34.

#### **Патент**

20. Фреза контурная: пат. №7616 Респ. Беларусь, МПК В 23 С5/10 / С. И. Карпович, П. Н. Самбук, П. В. Рудак, В. Т. Лукаш; заявитель Белорус. гос. технолог. ун-т. – № и 20110080; заявл. 02.11.2011; опубл. 30.10.2011 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 5. – С. 225.

## РЭЗІЮМЭ

Лукаш Валерый Тадэвушавіч

### Рэсурсазберагальныя рэжымы апрацоўкі ламінаваных драўняна-стружкавых пліт дыскавымі цвердасплаўнымі піламі з камбінаваным профілем зубоў

**Ключавыя словы:** дыскавая цвердасплаўная піла, ламінаваныя драўняна-стружкавыя пліты, раскрой, падача на зуб, хуткасць рэзання, якасць апрацоўкі, тэхналагічная стойкасць, магутнасць рэзання.

**Мэта даследавання:** распрацаваць рэсурсазберагальныя рэжымы пілавання ламінаваных драўняна-стружкавых пліт дыскавымі цвердасплаўнымі піламі з навукова абгрунтаваным камбінаваным профілем зубоў, якія забяспечваюць высокую якасць апрацоўкі пры максімальнай прадукцыйнасці абсталявання, мінімізацыі энергаспажывання і дазваляюць тым самым павысіць эфектыўнасць вытворчасці за кошт эканоміі сыравіны і зніжэння працавыдаткаў.

**Метады даследавання і выкарыстаная апаратура:** для планавання эксперыменту ўжыты В-план другога парадку. Пры правядзенні даследаванняў выкарыстоўвалася наступнае абсталяванне і прыборы: эксперыментальная ўстаноўка на базе прамысловага дрэваапрацоўчага станка ФСА, абсталяваная вымяральной тэнзаметрычнай прыладай, скануючы электронны мікраскоп JSM-5610 LV с сістэмай хімічнага мікрааналізу EDX JED-2201, паўаўтаматычны заточны станок мадэлі «СНР есо».

**Навуковая навізна атрыманых вынікаў:** упершыню распрацаваны аналітычныя залежнасці велічынь радыуса акруглення рэжучага кромкі і фаскі зносу па задняй паверхні ляза зуба пілы ад яго фактычнага шляху рэзання. Навукова абгрунтаваны профілі зубоў дыскавай цвердасплаўнай пілы, якія забяспечваюць найбольшую тэхналагічную ўстойлівасць рэжучага інструмента і найменшую энергаёмкасць працэсу пілавання. Упершыню атрыманы матэматычныя залежнасці для разліку фактычнага шляху рэзання зуба пілы і магутнасці рэзання пры апрацоўцы ламінаваных драўняна-стружкавых пліт дыскавымі піламі, якія дазваляюць прызначаць рэжымы пілавання ДСП-Л ў залежнасці ад прыярытэтнасці выхаднога паказчыка. Створана эксперыментальная ўстаноўка для правядзення даследаванняў рэжымаў механічнай апрацоўкі драўняных матэрыялаў.

**Ступень выкарыстання:** вынікі дысертацыйнага даследавання прыняты да выкарыстання на філіяле закрытага акрыянернага таварыства «Холдынгавая кампанія «Пінскдрэў» ПВУП «Мэблевая фабрыка «Пінскдрэў-Адрыяна».

**Галіна прымянення:** дрэваапрацоўчая прамысловасць, прадпрыемствы, якія ажыццяўляюць распілоўванне ламінаваных драўняна-стружкавых пліт.

## РЕЗЮМЕ

Лукаш Валерий Тадеушевич

### **Ресурсосберегающие режимы обработки ламинированных древесно-стружечных плит дисковыми твердосплавными пилами с комбинированным профилем зубьев**

**Ключевые слова:** дисковая твердосплавная пила, ламинированные древесно-стружечные плиты, раскрой, подача на зуб, скорость резания, качество обработки, технологическая стойкость, мощность резания.

**Цель исследования:** разработать ресурсосберегающие режимы пиления ламинированных древесно-стружечных плит дисковыми твердосплавными пилами с научно обоснованным комбинированным профилем зубьев, обеспечивающие высокое качество обработки при максимальной производительности оборудования, минимизацию энергопотребления и позволяющие тем самым повысить эффективность производства в следствие экономии сырья и снижения трудозатрат.

**Методы исследования и использованная аппаратура:** для планирования эксперимента применен В-план второго порядка. При проведении исследований использовалось следующее оборудование и приборы: экспериментальная установка на базе промышленного деревообрабатывающего станка ФСА, оснащенная измерительным тензометрическим устройством, сканирующий электронный микроскоп JSM-5610 LV с системой химического микроанализа EDX JED-2201, полуавтоматический заточной станок модели «СНР есо».

**Научная новизна полученных результатов:** впервые разработаны аналитические зависимости величин радиуса округления режущей кромки и фаски износа по задней поверхности лезвия зуба пилы от его фактического пути резания. Научно обоснованы профили зубьев дисковой твердосплавной пилы, обеспечивающие наибольшую технологическую стойкость режущего инструмента и наименьшую энергоемкость процесса пиления. Впервые получены математические зависимости для расчета фактического пути резания зуба пилы и мощности резания при обработке ламинированных древесно-стружечных плит дисковыми пилами, позволяющие назначать режимы пиления ДСП-Л в зависимости от приоритетности выходного показателя. Создана экспериментальная установка для проведения исследований режимов механической обработки древесных материалов.

**Степень использования:** результаты диссертационного исследования приняты к использованию на филиале закрытого акционерного общества «Холдинговая компания «Пинскдрев» ЧПУП «Мебельная фабрика «Пинскдрев-Адриана».

**Область применения:** деревообрабатывающая промышленность, предприятия, осуществляющие распил ламинированных древесно-стружечных плит.

## SUMMARY

Valery T. Lukash

### **Resource-saving modes of laminated chipboard processing with cemented-carbide saws with combined tooth profile**

**Key words:** circular cemented-carbide saw, laminated chipboard, cutting, feed per tooth, cutting speed, processing quality, technological resistance, cutting power.

**The purpose of the research:** to develop resource-saving modes of sawing of laminated chipboards with cemented-carbide saws with the scientifically grounded combined profile of teeth, ensuring a high quality of processing at the maximum productivity of equipment and minimizing energy consumption and allowing to increase production efficiency by saving raw materials and reducing labor costs.

**Methods of research and used equipment:** a second-order B-plan was used to plan the experiment. The following equipment and devices were used during the research: the experimental installation based on the industrial woodworking machine  $\Phi$ CA, equipped with a measuring strain gauge, an electron scanning microscope JSM-5610 LV with the chemical microanalysis system EDX JED-2201, a semi-automatic grinding machine model «CHP eco».

**Scientific novelty of the obtained results:** for the first time ever, analytical dependences of the radius values of the cutting edge rounding and the wear chamfer on the flank from the actual cutting path have been developed. The profiles of the teeth of the cemented-carbide saw are scientifically grounded, which ensure the greatest technological stability of the cutting tool and the lowest power consumption of the sawing process. Mathematical dependences are first obtained for calculation of the actual cutting path of the saw tooth and the cutting power while processing laminated chipboard with circular saws, which allow setting the sawing regimes of the particleboard according to the priority of the output index. An experimental setup has been devised to conduct research on the modes of mechanical processing of wood materials.

**Efficiency:** the results of the dissertation research were accepted for use at the «Furniture factory «Pinskdrv-adriana» and introduced into the educational process of the Belarusian State Technological University.

**Field of application:** woodworking industry, enterprises that are engaged in sawing laminated chipboards.



Научное издание

**Лукаш** Валерий Тадеушевич

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ РЕЖИМЫ ОБРАБОТКИ  
ЛАМИНИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ  
ДИСКОВЫМИ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ПИЛАМИ  
С КОМБИНИРОВАННЫМ ПРОФИЛЕМ ЗУБЬЕВ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности 05.21.05 – древесиноведение, технология  
и оборудование деревопереработки

Ответственный за выпуск В. Т. Лукаш

Подписано в печать 21.09.2017. Формат бумаги 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,0.

Тираж 60 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,

изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/227 от 20.03.2014

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.