

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРАВИТЕЛЬСТВО СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ  
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ СЕКЦИИ НАУК О ЛЕСЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ  
ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК  
АССОЦИАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ  
УРАЛЬСКИЙ СОЮЗ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННИКОВ  
УРАЛЬСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПЕРЕРАБОТКИ  
ДРЕВЕСИНЫ  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЛЕСНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ  
IUFRO  
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ЭКОЛОГИИ И БЕЗОПАСНОСТИ  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

## **ДЕРЕВООБРАБОТКА:**

**ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ, МЕНЕДЖМЕНТ XXI ВЕКА**

**ТРУДЫ  
МЕЖДУНАРОДНОГО  
ЕВРАЗИЙСКОГО СИМПОЗИУМА**

УДК 674

Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Труды евразийского симпозиума / Под ред. И.Т. Глебова. – Екатеринбург  
ISBN 5-94984-115-5

В книгу трудов включены доклады евразийского симпозиума “Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XI века”, проходившего 20 – 21 сентября 2006 года в городе Екатеринбурге.

В трудах рассмотрены актуальные вопросы теории и практики организации деревообрабатывающего производства; эффективности использования инновационных и информационных технологий в фундаментальных научных и прикладных исследованиях, образовательных и коммуникативных системах и средах; технологии подготовки круглых лесоматериалов и их переработки с получением пиломатериалов и их биологической защиты; деревянного домостроения и отделки изделий из древесины лакокрасочными материалами; теории резания древесины, расчета режимов резания древесины на станках, совершенствования и проектирования принципиально нового технологического деревообрабатывающего оборудования и режущего инструмента, повышения их точности и надежности; экологии и безопасности и др.

Печатается по решению ученого совета факультета механической технологии древесины Уральского государственного лесотехнического университета

Оргкомитет благодарит за поддержку в организации и проведении международного симпозиума и издании настоящих трудов Правительство Свердловской области, Уральский государственный лесотехнический университет, Уральское отделение Секции науки о лесе Российской академии естественных наук, Ассоциацию инженерного образования России, Уральский союз лесопромышленников, Уральский научно-исследовательский институт переработки древесины, Международный союз исследователей лесных организаций IUFRO, Международную академию наук экологии и безопасности, Белорусский государственный технологический университет.

#### **Программный комитет:**

Азаренок В.А., Гороховский А.Г., Жарский И.М., Залесов С.В., Киреев Н.Д., Мехренцев А.В., Русак О.Н., Старжинский В.Н.

#### **Организационный комитет:**

Залесов С.В., проректор по научной работе, председатель, Тракало Ю.И., декан ФМТД, зам. председателя, Левинская Г.Н., Новоселов В.Г., Бирюков П.А., Герц Э.Ф., Глебов И.Т., Копнов В.А., Левинский Ю.Б., Часовских В.П., Черемных Н.Н., Чернышев О.Н.

**Ответственный** за выпуск сборника В.Г. Новоселов

Компьютерная верстка: Щепочкин С.В.

Дизайн обложки: Вараксина В.А.

Статьи помещены в книгу без правки и редактирования

ISBN 5-94984-115-5

© Уральский государственный лесотехнический университет

## **К УЧАСТНИКАМ СИМПОЗИУМА**

*Дорогие коллеги!*

*Как известно, деревообработка – одна из немногих отраслей производства относительно благополучно преодолевающая трудности перехода российской экономики к рыночным отношениям. Во всех развитых странах она является весьма доходным бизнесом, что обусловлено особенностями сравнительно короткого и недорогого процесса переработки сырья в готовую высокотоварную продукцию, востребуемую практически во всех сферах производственной и социальной человеческой деятельности. Замечательные эстетические, эргономические и экологические свойства этого материала наряду с высокой технологичностью привлекали и всегда будут привлекать потребителей изделий из него. Это обеспечивает устойчивый спрос на продукцию деревообработки, создает предпосылки эффективного ведения производства и делает заманчивым инвестирование в данную область.*

*Однако успех производства становится сомнительным, когда за него берутся люди высококвалифицированные, но в других областях техники и технологий: металлургии, машиностроения, химии и т.д., а также - когда кадровые специалисты-деревообработчики осваивают новую технику и технологию без досконального знания особенностей и новшеств, заложенных в инструменте, оборудовании, процессах обработки древесины. Аналогичную ситуацию создает получившее широкое распространение изготовление деревообрабатывающего оборудования на непрофильных машиностроительных предприятиях, а иногда и в малоприспособленных мастерских.*

*Научному рассмотрению вопросов совершенствования техники и технологии деревообработки на всех переделах - от получения круглых лесоматериалов до готовых изделий, связанных со всеми проблемами - от организационно-юридических до экологии и безопасности производств - посвящается данный симпозиум. Он проводится в УГЛТУ по инициативе и на базе факультета механической технологии древесины. Организаторы стремились по возможности шире охватить круг заинтересованных лиц и организаций. Впервые в практике научных мероприятий в УГЛТУ в рамках данного симпозиума организована Интернет-конференция, и его материалы напрямую доступны во всемирной сети.*

*От имени оргкомитета симпозиума выражаю признательность всем, кто откликнулся на приглашение принять в нем участие, организациям, оказавшим поддержку, и спонсорам, взявшим на себя часть расходов по его проведению.*

*В.Г.Новоселов*

*Проблемы взаимоотношений предпринимателей  
с властью и менеджмента предприятий*

**СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО  
ПРОИЗВОДСТВА В СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Мехренцев А.В.** (*Министерство промышленности, энергетики и науки  
Свердловской области, Екатеринбург, РФ*)

**CONDITION AND PROSPECTS OF WOODWORKING INDUSTRY IN  
SVERDLOVSK'S REGION**

Лесной комплекс России занимает особое место в экономике страны. Использование воспроизводимых древесных ресурсов обеспечивает устойчивое производство высокодоходной и востребованной продукции.

На лесных предприятиях страны занято 8,4 процента всех работающих в промышленности страны. Экспорт лесоматериалов занимает 3-4 место среди всех экспортируемых из России товаров. Общий запас леса по данным последнего учета лесного фонда составляет 80,7 млрд.м<sup>3</sup> или более одной четвертой части мировых запасов. На долю спелых и перестойных лесов приходится 44,1 млрд.м<sup>3</sup>, из них 35,3 млрд. м<sup>3</sup> - леса хвойных пород. Лесной потенциал страны вполне обеспечивает возможность не только полного удовлетворения всех потребностей отечественной экономики в древесине, но и позволяет значительно увеличить экспорт лесопродукции. Для сравнения: общий запас леса меньше, чем в России, в США - в 4 раза, в Швеции - в 30 раз, в Финляндии - в 42 раза, но размер валютной выручки от лесного экспорта значительно превышает российские показатели (табл.1). (Finnish Statistical Yearbook of Forestry. Finnish Forest Research Institute. Jyväskylä. 2000)

Таблица 1

Страна	Круглый лес, млн.долл.	Продукты переработки древесины, млн.долл.	Всего, млн.долл.	Соотношение, %
Канада	155	24276	24431	1/99
Швеция	83	9938	10021	1/99
Финляндия	76	10922	10998	1/99
Россия	946	1912	2858	33/67

Цифры, приведенные в таблице, наглядно свидетельствуют об огромных неиспользованных возможностях лесопромышленного комплекса России в деле повышения эффективности всей экономики страны.

Значительный спад объемов производства, начавшийся с 1992 года завершен. В 2000-2001 годах пройдены низшие точки объемов заготовки и переработки древесины. К 2005 году стабилизировались объемы лесозаготовок, а производство продукции глу-

бокой переработки: пиломатериалов, фанеры, древесных плит выросло и имеет устойчивую положительную динамику развития.

В настоящее время в лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности Свердловской области работают около 700 предприятий, в том числе крупных и средних предприятий - 110. Предприятия лесного комплекса работают почти в каждом муниципальном образовании. В целом ряде населенных пунктов они являются социально значимыми и градообразующими. От работы этих предприятий зависит решение не только экономических, но и социальных, экологических проблем территорий.

Доля продукции, произведенной предприятиями лесопромышленного комплекса, в общем объеме промышленного производства Свердловской области составляет 1,6%. Наибольший удельный вес производства в лесной отрасли приходится на предприятия деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности (73%).

В 2005 году предприятиями лесопромышленного комплекса Свердловской области отгружено товаров на сумму 4542 млн. рублей по обработке древесины, что на 30% выше уровня 2004 года. Основные показатели развития отрасли за последние годы приведены в таблице 2.

Таблица 2

Виды продукции	Един. измер.	2001 год	2002 год	2003 год	2004 год	2005 год (опер. данные)	2006 7 мес.
Расчетная лесосека	млн.м <sup>3</sup>	18,4	18,4	19,8	19,8	20,0	
Фактическая рубка	млн.м <sup>3</sup>	6,7	6,8	7,6	8,2	7,9	
Объем отгруженных товаров: -обработка древесины -цел.-бумаж. произ-во	млн. руб.	х	х	х	3523,7 923,2	4542,0 1225,0	4098 709
Деловая древесина	млн.м <sup>3</sup>	3,2	3,2	4,1	3,9	3,3	1,78
Пиломатериалы	млн.м <sup>3</sup>	0,86	1,17	1,26	1,09	1,0	0,56
Шпала	т. шт.	595,3	447,1	344,4	273,6	250,8	71,8
Фанера	тыс. м <sup>3</sup>	97,8	118,9	127,5	152,0	169,5	100,2
Древесностружечные плиты	тыс. м <sup>3</sup>	15,0	0	22,5	60,4	92,4	63,3
Древесноволокнистые плиты	млн.м <sup>2</sup>	9,5	12,5	13,0	13,1	13,25	7,78
Бумага	тыс.тн.	40,9	44,1	46,0	45,9	43,2	23,4
Картон	тыс.тн.	1,64	2,6	3,75	3,92	4,21	3,78
Обои	т.ус.кус.	х	7243	6990	5586	8245	4533
Прибыль (убыток) обрабатывающ. пр-ва	млн.руб.	-66,0	-121,8	144,2	145,1	284,5	278,2
Инвестиции в обрабатывающ. пр-ва	млн. руб.	112	160,4	140,6	210,7	261,1	210,0

Доля лесного комплекса Свердловской области в России: деловая древесина – 3,9% (9 место в России); пиломатериалы – 5,7% (5 место); фанера – 6,8% (6 место); ДВП – 3,8% (10 место); ДСП – 2,0% (15 место); бумага и картон – менее 1%. В числе ведущих предприятий отрасли ЗАО «Фанком», ООО «Тавдинский фанерный комбинат», ООО «Первая лесопромышленная компания».

Удельный вес экспортной продукции лесной отрасли в общем объеме экспорта составляет 2,0 процента. Важным показателем использования на предприятиях прогрессивных технологий является оценка их экспортных возможностей, так, в 2005 году экспортные поставки древесины и изделия из нее составили 113,1 млн. долларов США, что на 17% выше уровня 2004 года, экспорт круглых лесоматериалов составил 163,3 тыс.куб.м или 5,8% объема производства, пиломатериалов – 653,1 тыс.куб.м или 65,5% от объема производства. Область по-прежнему остается крупным экспортером фанеры и ДСП.

В числе эффективно работающих предприятий деревообработки ЗАО «Фанком», ЗАО (работников) «Туринский целлюлозно-бумажный завод» (единственный в области производитель ДВП), ООО «Тавдинский фанерный комбинат», ООО «Первая лесопромышленная компания», ООО «Лесоиндустриальная компания Лобва», ОАО «Юшалинский ДОК», ООО «Ураллеспром», ЗАО «ТПФ ЮТ», ООО «Леспром», ООО «Уральский лес». В то же время финансово-экономическое состояние многих предприятий отрасли остается сложным, более 50% предприятий убыточны.

Объем инвестиций в основной капитал за счет всех источников финансирования в 2005 году составил 261,1 млн.рублей, а за 7 месяцев 2006 года – 210 млн.рублей.

Анализ структуры затрат на производство основных видов продукции, вырабатываемой из древесины, показывает, что для всех направлений лесопромышленного производства самыми крупными статьями затрат являются расходы на древесное сырье и затраты на топливо и энергию. Суммарная величина этих затрат по данным Государственного научного центра лесопромышленного комплекса (ГНЦ ЛПК) достигает 40-45% (табл.3). Снижение доли этих затрат существенно снизит себестоимость продукции и благотворно скажется на работе предприятий лесопромышленного комплекса. Из этого следует, что для повышения эффективности работы ЛПК приоритетными направлениями являются снижение затрат на производство древесного сырья, энергоресурсы, а также развитие деревообрабатывающих производств в местах заготовки древесины.

Таблица 3

Виды продукции	Распределение затрат, %						
	Сырье	Топливо и энергия	Материалы	Оплата труда	Социальная сфера	Амортизация	Прочие затраты
Пиломатериалы	33,1	11,3	5,4	17,9	6,6	6,3	19,4
Фанера	35,26	12,48	10,01	17,29	6,26	4,11	14,59
ДВП, ДСП	26,2	16,0	13,2	17,3	6,4	6,3	14,6
Мебель	24,9	9,0	22,9	16,7	6,0	3,8	16,7
Домостроение	24,1	17,7	9,2	19,6	7,2	6,6	15,6
Бумага	25,8	19,4	14,6	10,4	3,9	6,9	19,0

При выборе основных направлений развития лесопромышленного комплекса Свердловской области в первую очередь должны быть учтены следующие факторы:

- 1) наличие в области значительных запасов лесных ресурсов, которые используются сейчас не полностью;
- 2) обеспеченность лесопромышленных предприятий области собственными трудовыми ресурсами;
- 3) наличие в области крупных лесопильно-деревообрабатывающих предприятий по переработке древесины на пиломатериалы, изделия деревообработки, мебель, фанеру, плиты;
- 4) в структуре лесных ресурсов области большую часть занимает лиственная, мелкотоварная и низкосортная древесина, которая не находит спроса на внутреннем и тем более на внешнем рынках, которую необходимо перерабатывать на месте (внутри области);
- 5) спрос на продукцию внутри области и на внешних рынках;
- 6) необходимость реконструкции предприятий, использующих низкокачественную древесину и отходы (предприятия по производству бумаги, древесностружечных и древесноволокнистых плит, изделий лесохимии, тепловой и электрической энергии), расширения номенклатуры продукции и увеличение глубины переработки древесины;
- 7) размещение в зоне экономической доступности от лесопромышленных предприятий области крупных потенциальных потребителей мелкотоварной, мягколиственной древесины, технологической щепы;
- 8) технологий по переработке отходов деревообработки и макулатурной массы;
- 9) планируемый комплекс научных исследований должен обеспечить эффективность перспективных направлений в лесопромышленных технологиях на основе освоения высокотехнологичной продукции, сертификации лесопользования и развития лесной энергетики.

Стратегическим направлением развития лесопромышленного комплекса Свердловской области принято приоритетное расширение глубокой химико-механической и механической переработки древесины с максимальным вовлечением мелкотоварной, низкокачественной и мягколиственной древесины, а также производство тепловой и электрической энергии из низкосортной древесины.

Продукция глубокой переработки древесины является конкурентоспособной, что обеспечивает выход ее на российские и зарубежные рынки, высоко rentабельной и приносит устойчивые финансовые поступления в бюджеты всех уровней. Кроме того, при современных железнодорожных тарифах перевозка готовой продукции глубокой переработки значительно эффективнее, чем круглого леса.

Значительно меняется структура продукции в направлении организации производства новых ее видов, соответствующих мировому уровню:

- 1) в лесопильном производстве возрастет выпуск высококачественных, специфицированных пиломатериалов, в том числе экспортных, на базе внедрения современного импортного оборудования;
- 2) в плитном производстве предусматривается модернизация технологических потоков по производству ламинированных древесно-стружечных плит, пользующихся большим спросом на рынке ближнего зарубежья;

3) в производстве фанеры намечен выпуск ее новых видов – большеформатной, огнестойкой из древесины лиственных и хвойных пород, производство гнуто-клееных деталей (латофлекс) и опалубки;

4) в деревообрабатывающем производстве значительно возрастет выпуск клееных лесоматериалов, столярно-строительных и конструкционных изделий для развития деревянного домостроения;

5) в производстве мебели и других товаров народного потребления будет организован выпуск изделий, по качеству и дизайну соответствующих мировому уровню и требованиям внутреннего рынка;

6) планируется существенное увеличение объемов производства биотоплива из низкосортной древесины и древесных отходов с производством тепловой и электрической энергии на когенерационных установках.

Основу развития деревообрабатывающих производств составляет лесопиление.

Рентабельность лесопиления падает с каждым годом в силу отдаленности лесопильных предприятий нашего региона от потребителей, главным образом, зарубежных. По данным А.А.Добрачева при годовых объемах, менее 20 тыс. куб. м пиломатериалов она приближается к нулю.

К особенностям современного лесопиления в настоящее время следует отнести:

- рост стоимости заготовки пиловочника;
- снижение среднего диаметра пиловочника;
- снижение содержания хвойных пород в объемах пиловочника;
- старое оборудование, рост производственных затрат;
- уменьшение числа квалифицированных кадров;
  - увеличение доли затрат ручного труда на сортировке-переобрезке-пакетировании;
  - низок уровень подготовки дереворежущего инструмента;
  - отсутствует сбыт основного побочного продукта лесопиления – щепы, срезки, реек, опилок;
  - низка эффективность сушки.

Лесопильные рамы по-прежнему остаются самым массовым производителем пилопродукции и заменять их в действующих предприятиях мы не рекомендуем. Необходимо только специализировать эти потоки на выпуск ограниченного числа сечений пиломатериалов и исключить обрезные станки, что повлечет сокращение вдвое затрат на сортировке пиломатериалов и повысит в 1,5 раз производительность потоков, улучшит качество, снизит себестоимость продукции. Необрезные пиломатериалы необходимо пускать в сушку, затем перерабатывать, что повысит на 20% выход и более, чем в два раза товарность продукции.

Углубление обработки досок становится одним из основных направлений развития лесопиления. Имеются в виду следующие виды обработки пиломатериалов:

- сортировка пиломатериалов по областям их использования - на столярные, отделочные и конструкционные;
- раскрой пиломатериалов на заготовки для мебели, производства столярных изделий, домостроения и др.;

- обработка пиломатериалов на строгальных станках с целью получения деталей различных профилей для массового и индивидуального строительства, ремонта и архитектурного оформления помещений, для авто-, вагоно- и судостроения;

- производство клеёных деталей и полуфабрикатов (щитовых и брусковых) для мебели, столярных изделий, строительных конструкций, полов, и для бытового использования;

- изготовление клеёных деревянных конструкций а также фасонных брусьев различного назначения, изготовление различных элементов для индивидуальных домов, придомовых и садовых участков.

Повышению производительности, выхода товарной продукции существующих предприятий будет содействовать снижение числа сечений пиломатериалов в рамках одного потока лесопиления, уменьшение длин пиловочного сырья, применение одно-типного режущего инструмента.

Из организационно – технологических мероприятий существенное влияние на работу отрасли может оказать специализация лесопильных предприятий по толщинам и сечениям выпиливаемых пиломатериалов, которая в два раза сокращает затраты на сортировку пиломатериалов, повышает на 4,5 % коэффициент заполнения транспортных пакетов, увеличивает полезную статическую нагрузку на транспорте.

Основными точками реконструкции крупных лесопильных предприятий на территории области представлены ООО «Лесоиндустриальная компания Лобва», ООО «Уральский лес» (г.Серов), ООО «Первая лесопромышленная компания» (г.Алапаевск), ЗАО «ТПФ ЮТ» (п.Коуровка). Кроме того, в Нижнем Тагиле создаются новые мощности по лесопилению в ООО «Выйский ДОК».

Помимо совершенствования технологий лесопиления и деревообработки серьезные изменения претерпит фанерное производство. В настоящее время завершается строительство второй очереди мощностью 70 тыс.куб.м в год на ЗАО «Фанком». Уникальные технологии позволят повысить выход готовой продукции и обеспечат производство как лиственной так и хвойной фанеры. Строится новый фанерный завод в пос.Восточный Серовского района. Строительство ведет ООО «Аргус-СФК». Мощность нового производства 36 тыс.куб.м фанеры в год. Закуплено оборудование для нового завода в п.Лобва. ООО «Лесоиндустриальная компания Лобва» планирует ближайшие годы производить до 40 тыс.куб.м фанеры в год. ООО «Тавдинский фанерный комбинат» завершает строительство нового цеха по производству 9500 куб.м гнuto-клееных изделий (латофлекс).

В части создания мощностей по производству плит рассматриваются проекты создания нового завода по производству 300 тыс.куб.м ламинированной ДСП в г.Алапаевске на ООО «Первая лесопромышленная компания», модернизация технологического потока на ООО «Тавдинский фанерный комбинат» и строительство нового завода по производству плит OSB на ЗАО(р) «Туринский ЦБЗ».

Участие предприятий лесопромышленного комплекса в реализации национального проекта «Доступное жилье – гражданам России» может быть ориентировано по следующим направлениям:

- развитие деревянного домостроения;
- создание новых и модернизация старых производств по изготовлению окон, дверей, покрытий пола из древесных материалов;

- производство современной скользящей опалубки из плитных материалов;
- увеличение производства конкурентоспособной целлюлозно-бумажной продукции (обои, бумажная тара для строительных материалов);
- расширение применения новых технологий защиты древесных конструкций, а также теплоизоляционных материалов;
- расширение использования современных, эффективных и экологически чистых технологий энергообеспечения.

**Сегодня один рубль, вложенный в деревянное строительство, стимулирует производство мебельной, плитной и фанерной продукции на сумму 5 рублей.**

Для реализации этих направлений в Свердловской области имеется комплекс предприятий, которые могут быть рассмотрены в качестве стартовой позиции или точек роста технологий домостроения. Среди этих предприятий ООО «Ураллеспром», ООО «Лесоиндустриальная компания Лобва», ОАО «Юшалинский ДОК», комплекс фанерных производств (имеющихся и строящихся), предприятия по производству столярных изделий и внутренних интерьеров – ООО «Леспром», ООО «Экодрев», ООО «Ламель» и другие.

В деревянном домостроении применяются, в основном, три известные архитектурно-строительные системы: домостроение из массивной древесины, каркасное и панельное домостроение. Как полагают специалисты, структура деревянного домостроения на ближайшие 10-15 лет (по оптимистическому прогнозу) будет выглядеть следующим образом:

- **домостроение из массивной древесины - 35-40%;**
- **панельное деревянное домостроение - 30-35%;**
- **каркасное деревянное домостроение - 25-30%.**

В этот период предполагается значительное развитие каркасного деревянного домостроения. Деревянный каркас собирается по принципу сотовой структуры и представляет собой очень жесткое и прочное сооружение. Стена каркасного дома, при средней толщине 310 мм, полностью удовлетворяет требованиям новых СНиП. Даже в морозы снижение температуры, при отключении отопления в доме, составляет всего лишь 2<sup>0</sup> С в сутки. Родиной каркасного деревянного домостроения является Канада. Сегодня канадское каркасное деревянное домостроение преподносится как новый вид, однако еще 20 лет назад в России производилось около 1 млн. кв. м общей площади каркасных деревянных домов, изготовлением которых занимались более 10 предприятий. Из-за отсутствия в то время эффективных строительных материалов для этого вида домостроения (в основном наружной и внутренней обшивки и эффективных утеплителей) каркасные деревянные дома имели низкое эксплуатационное качество и по этой причине дискредитировали себя («фенольное жильё») и постепенно были сняты с производства. Многолетний отечественный опыт производства каркасных домов свидетельствует о достаточно высокой эффективности их заводского изготовления. По оценкам специалистов, стоимость заводского изготовления 1 кв. м общей площади каркасного дома меньше на 30-40% стоимости 1 кв. м панельного дома. Простота конструктивного решения каркасного дома и технологии строительства позволяют возвести его силами индивидуальных застройщиков без применения средств механизации, что в сочетании с невысокой стоимостью заводского комплекта деревянных деталей и изделий делает этот вид наиболее доступным для семей с низким и средним уровнем доходов. Кроме

того, каркасный дом по сравнению с панельным имеет более высокое эксплуатационное качество за счет исключения стыков между панелями, так как стыки наружных и внутренних обшивочных материалов располагаются только на деревянном каркасе. В силу этих причин каркасное деревянное домостроение, по мнению экспертов, может стать основой развития отечественного деревянного домостроения, обеспечивающего массовое производство качественных, дешевых, экономически доступных домов.

Вместе с тем для такой страны, как Россия, с ее многообразием природно-климатических условий, наличием как лесоизбыточных, так и лесодефицитных регионов, разнообразием местных источников сырья и материалов, все виды архитектурно-строительных систем деревянного домостроения имеют право на свое развитие. В частности опыт многих европейских стран по развитию технологий панельного домостроения показывает его высокую эффективность. Ну а о возможностях архитектурных решений при возведении домов из клееного бруса и говорить не стоит. Они бесконечны.

Доступность деревянного жилья.

Помимо использования современных технологий, материалов и строительно-архитектурных решений, позволяющих в настоящее время снизить стоимость дома «под ключ» до 200...300 долларов за 1 кв.м площади, о чем говорит опыт деревянного домостроения в Ленинградской области, имеется дополнительный путь, реализация которого требует определенных законодательных решений на региональном уровне. Речь идет о снижении стоимости древесного сырья для предприятий, участвующих в реализации национального проекта.

Ежегодно область постановлением правительства выделяет порядка 2-х млн.куб.м древесины на корню в том числе и в рамках лимитов бюджетных организаций для строительства жилья для бюджетников, которое должно быть самым дешевым.

Предлагается следующая схема:

- 1.Заказчик – муниципальное образование формирует список бюджетников на получение жилья и определяет земельный участок, отводимый под застройку.
- 2.Определяются необходимые объемы отпуска леса на корню по минимальным ставкам (минимум на 30...50% ниже, чем в лесопромышленном комплексе).
- 3.Проводится конкурс на заявленные объемы заготовки древесины.
- 4.Выявляется победитель, гарантирующий минимальную стоимость жилья, при соответствующем качестве и архитектурно-строительном решении.
- 5.Закключаются соответствующие договора.

Перспективы развития деревянного домостроения в области связываются со строительством современных технологических линий на новой площадке в Екатеринбурге ООО «Ураллеспром», а также проект модернизации ОАО «Юшалинский ДОК» холдингом «Исеть-фонд».

Мировая практика переработки древесного сырья неразрывно связана с проблемой переработки низкокачественной древесины и древесных отходов. Основным направлением этой переработки является биоэнергетика. В высокоразвитых европейских странах реализуются дорогостоящие технологии переработки древесины как растительного полимера. Основными странами, опыт которых в ближайшей перспективе может быть использован в России, являются Скандинавские страны, а также Канада и

США, имеющие наиболее близкие с Россией природно-производственные условия лесопользования.

В качестве примеров реализации в области лесной энергетики предлагаются технологии производства топлива для биоэнергетики (древесных гранул – пеллетов, топливных брикетов, спрессованных порубочных остатков), производства электроэнергии при сжигании порубочных остатков на основе масляных теплопереносных установок и газификационных теплоцентралей, использование когенерационных энергетических установок, а также повышение эффективности применяемого энергетического оборудования на лесопромышленных предприятиях. При этом каждый плотный кубометр древесных отходов, не находящий другого применения и направленный в топку котельной позволит сэкономить 200...250 кг условного топлива. Развитие лесозенергетических производств позволит существенно повлиять на улучшение энергообеспечения потребителей в области. В качестве важного направления лесной энергетики является выход крупных предприятий лесопромышленного комплекса в качестве участников на оптовый рынок электроэнергии.

Укрупнённые расчеты технико-экономических показателей свидетельствуют о том, что предложенные направления развития лесопереработки на территории области должны обеспечить решение задач и достижение целей повышения доходности, обеспечение финансово-устойчивой работы предприятий лесопромышленного комплекса и повышения их инвестиционной привлекательности.

## **РЫНОК ОДНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

**Константинова А.П.** (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

[anna@midural.ru](mailto:anna@midural.ru)

## **THE MARKET OF ONE SPECIALITY**

Рыночные отношения, складывающиеся в сфере услуг высшего образования, формируют ряд проблем взаимодействия между участниками этого рынка. Вузы, в том числе и государственные, вынужденные оказывать платные услуги на рынке профессионального образования, оказались не готовыми к деятельности по удовлетворению образовательных потребностей студентов, с одной стороны, и рынка труда — с другой. Индивид выбирает специальность на основе своих интересов, складывающихся под воздействием различных факторов, в том числе влияния СМИ, моды, не зная, будет ли полученная профессия востребована через несколько лет.

Работодатели, как субъекты рынка труда, заинтересованы в выпускниках вузов, способных удовлетворить текущие конъюнктурные потребности в специалистах. Несмотря на то, что вуз включен в два рынка — рынок образовательных услуг и рынок труда, — он главным образом ориентирован на текущий спрос лишь на одном из них: со стороны домохозяйства. Актуальна ситуация невостребованности выпускников вузов на рынке труда. Это связано как с тем, что спрос рынка труда «отложен» на 4—6 лет с момента поступления в вуз и требует прогнозного изучения, так и с тем, что спрос на рынке труда подвижен, определяется экономическими процессами модернизации производства.

Выделено пространство в сфере образовательных отношений, в котором наиболее ярко реализуются рыночные механизмы — это профессиональная подготовка, в результате которой формируется профессиональная компетенция специалиста. К субъектам рынка услуг высшего образования относятся производители образовательной услуги — образовательные учреждения и потребители образовательной услуги — домохозяйство и отрасли хозяйства.

Спрос со стороны домохозяйства выражается в принятии решений относительно выбора параметров образовательной услуги (специальности, формы обучения, стоимости) и образовательного учреждения (преимущественно, статуса, имиджа вуза), что в совокупности означает выбор ожидаемого социального статуса, социальных связей и прочих дополнительных эффектов, связанных с увеличением человеческого капитала. Спрос со стороны отраслей хозяйства проявляется в реакциях рынка труда и измеряется количеством вакансий на специалистов необходимой квалификации.

Для эффективного функционирования исследуемой системы плохо реализуются взаимодействия между вузами и отраслями хозяйства. Вузы слабо ориентированы на подготовку необходимых в отраслях хозяйства специалистов, не заинтересованы в распределении выпускников на предприятиях. Работодатели, планируя получить быстрый коммерческий эффект от своей деятельности, не ориентированы вкладывать ресурсы в повышение профессиональной компетенции студентов.

В России развитие рынка образовательных услуг связывается, прежде всего, с платными услугами государственных образовательных учреждений и формированием института негосударственного образования.

Перечень специальностей, предлагаемых вузами г. Екатеринбурга, в целом соответствует потребностям индивидов и лишь частично учитывает потребности работодателей: из 39 представленных в городе вузов, 15 — государственных, в свою очередь из которых только 4 относятся к категории технические и технологические вузы. Среди всех вузов города самыми распространенными специальностями являются «Менеджмент», «Экономика», «Бухгалтерский учет и аудит» «Экономика и управление на предприятии (по отраслям)», «Коммерция», «Связи с общественностью», «Юриспруденция».

Это свидетельствует о том, что вузы реагируют на общественный спрос, но скорость и объемы развития высшей школы дают основание предположить о недостаточном качестве оказанных образовательных услуг.

Интересно, что лишь 9 (37,5%) учебных заведения из общего числа негосударственных вузов в г. Екатеринбурге являются головными вузами, остальные принадлежат к территориальным подразделениям столичных вузов.

Первоначально частный сектор задумывался в качестве некоей альтернативы, способной разрушить (или хотя бы ослабить) государственную монополию в сфере образования. В действительности негосударственное образование смогло освоить довольно ограниченный и относительно незанятый сегмент образовательного рынка.

Во-первых, часть абитуриентов нуждается в более доступных образовательных услугах.

Во-вторых, в эпоху массового получения второго высшего образования многим абитуриентам нужна именно заочная форма обучения. Из всех вузов страны такое обучение предлагают 85 %, а остальные специализируются только на дневном или вечер-

нем (без заочного) 16 % и 15 % соответственно. Большинству поступающих требуется гуманитарно-социальное или экономико-управленческое образование. Подготовка по другим направлениям носит единичный характер.

Негосударственный сектор отделен от государственного непроницаемой стеной. Достаточно проблематично перейти из первого во второй или поступить учиться дальше. Он лишен также иных привлекательных для абитуриентов благ, присущих его государственному аналогу - отсрочки от призыва в армию, диплома государственного образца и др.

Количество вузов неуклонно растет. Однако, для формирования полноценного рынка в высшем образовании этого не достаточно. Не следует забывать, что в высшем образовании все еще фактически сохранена монополия государства. Конкуренция среда на образовательном рынке пока не сложилась. При сохранении таких условий рассчитывать на сколько-нибудь серьезные преобразования в сфере высшего профессионального образования вряд ли приходится.

То, что вузы абитуриентов выбирают, очевидно. Иначе, зачем нужны были бы вступительные экзамены. А может ли абитуриент выбирать вуз? На первый взгляд, "да". Но всегда ли имеется такая возможность?

Оказывается, нет. Из большинства специальностей, по которым готовят в вузах, половину (в основном техническим) можно получить лишь в одном вузе и только по одной из форм обучения. Еще 29,3% специальностей можно получить в одном из двух вузов, либо по одной из двух форм обучения в одном вузе. Таким образом, возможности выбора при поступлении примерно на 90% всех специальностей в вузы ограничено 1 - 2 каналами, а вузы, их предлагающие, фактически являются монополистами. Это значит, что им не надо конкурировать между собой или отчаянно бороться за качество своей продукции.

Сегмент рынка, где конкурентное напряжение велико, составляет всего около 10% от общего числа специальностей. Легко можно заметить, что часть из них относится к специальностям гуманитарно-социального профиля. Большинство же принадлежит к группе экономико-управленческих специальностей. Так что, если и можно говорить о рынке образования, то, прежде всего, применительно к последней группе специальностей.

### **ДОБРОВОЛЬНАЯ СЕРТИФИКАЦИЯ ПРОДУКЦИИ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ И СМЕЖНЫХ ОТРАСЛЕЙ – СОДЕЙСТВИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ**

**Шаевич А.Б. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [general@mx2.usfeu.ru](mailto:general@mx2.usfeu.ru).**

### ***VOLUNTARY CERTIFICATION OF THE TIMBER INDUSTRY AND OF RELATED INDUSTRIES ENTERPRISES PRODUCTION – ASSISTANCE TO THE COMPETITION ABILITY***

Обеспечение конкурентоспособности деревообрабатывающих предприятий России на внутреннем и внешнем рынках неразрывно связано с обеспечением и официальным удостоверением качества и безопасности широкой номенклатуры их продукции

– пиломатериалов, плитных материалов (ДСтП, ДВП, фанера, МДФ, древесные пластики и композиты), дверных и оконных блоков, паркета, мебели, шкафов-купе, продуктов гидролиза древесины и лесохимии, в перспективе – высокорентабельного биотоплива и др.) Отмеченные факторы становятся все более существенными и применительно к продукции смежных отраслей – машин, оборудования, инструментов для деревообработки, а также вспомогательных материалов (клеи, лаки, краски) и комплектующих (крепёж, фурнитура, замки и др.).

Законом Российской Федерации “О техническом регулировании”, как и аналогичными законодательными актами других стран, предусмотрена процедура подтверждения качества и безопасности продукции, т.е. подтверждения ее соответствия требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров. Указанная процедура может осуществляться в двух формах. Одна из них – обязательное подтверждение путем принятия изготовителем декларации о соответствии данной продукции официальным требованиям безопасности (декларирование соответствия) или путем обязательной сертификации (как показывает опыт, декларирование находит меньшее распространение, чем обязательная сертификация). Другая форма подтверждения соответствия – добровольная сертификация.

Основная цель обязательной сертификации – обеспечить безопасность продукции для жизни или здоровья граждан, имущества физических и юридических лиц, государственного или муниципального имущества, а также содействие природоохранной деятельности. Однако, при всем ее важном значении обязательная сертификация не обеспечивает официальное удостоверение уровня качества по многим показателям, характеризующим полезные потребительские (эксплуатационные) свойства продукции. Это не позволяет полноценно использовать возможности сертификации для повышения конкурентоспособности производителей товаров, а также затрудняет ориентацию потребителей на рынке. В связи с отмеченным, наряду с обязательной, все возрастающее развитие получает добровольная сертификация.

В России и за рубежом зарегистрированы десятки систем добровольной сертификации, действие каждой из которых распространяется на одну или несколько групп однородных объектов. Почти все они ориентированы на то, чтобы удостоверить *соответствие* фактических значений показателей, характеризующих безопасность и/или потребительские (эксплуатационные) свойства продукции, требованиям нормативных документов (стандартов, правил и др.). Не отрицая полезности такого подхода, следует отметить, что более эффективной является добровольная сертификация, основанная на критерии «Фактический уровень качества и/или экологическая безопасность – *выше*, чем предусмотренные нормативными документами или характерные для аналогов». Такой подход имеет несомненные преимущества с позиций повышения конкурентоспособности и обеспечения интересов потребителей.

В России, и насколько известно, впервые в мировой практике, добровольная сертификация с использованием указанного критерия осуществляется по правилам Системы сертификации продукции (товаров, услуг) по качеству (ССК). Эта система, зарегистрированная Госстандартом России, действует в течение уже более 10 лет. Одним из аккредитованных региональных органов указанной системы является некоммерческое структурное подразделение Уральского государственного лесотехнического университета (г. Екатеринбург) – Уральский информационно-консультативный центр лесного

комплекса – «Ураллесинформконсалтинг» (Центр), образованный по инициативе Министерства промышленности, энергетики и науки Свердловской области.

При положительном результате сертификации продукции, с использованием указанного выше критерия, заявитель получает сертификат качества. Аналогично, если установлено, что содержание вредных примесей в продукции стабильно меньше по сравнению с официально допустимым в определенное число раз (на основании предоставленных заявителем копий протоколов испытаний в аккредитованных лабораториях), то заявитель получает экологический сертификат. Обе разновидности таких сертификатов имеют юридическую силу на всей территории России.

Оценка уровня качества осуществляется с использованием методов квалиметрии: оценивается весомость (важность) каждого показателя, фактические значения таких показателей сопоставляются с базовыми, после чего вычисляется обобщенный показатель, характеризующий фактический уровень качества или экологической безопасности относительно их базовых значений. Так, при сертификации дверей из древесных материалов осуществляется сравнительная оценка их качества по значениям показателей надежности, долговечности, эргономических, эстетических показателей и показателей экологической безопасности. Аналогично, при сертификации, например деревообрабатывающих станков, сравнительная оценка осуществляется с учетом значений ряда показателей. В их числе показатели назначения, характеризующие полезный эффект при эксплуатации (производительность, относительно меньшее потребление электроэнергии, степень автоматизации и др.), показатели надежности (безотказность, ремонтпригодность и др.), удобство осуществления профилактического обслуживания, эргономические и эстетические показатели и, конечно, - уровень безопасности.

В текст сертификатов, выдаваемых по правилам ССК, в отличие от сертификатов, выдаваемых по правилам других систем сертификации, включены две важных позиции. Первая: орган по сертификации несет ответственность за объективность оценки качества и экологической безопасности продукции на момент сертификации. Вторая: предприятие несет ответственность за сохранение точного соответствия показателей качества и/или экологической безопасности сертифицированной продукции значениям, установленным в результате сертификации, в течение всего срока действия сертификата. Предусмотрена также процедура инспекционного контроля.

Кроме законодательно установленных требований независимости и компетентности органа по сертификации, в своей деятельности Центр руководствуется принципом доброжелательности. Это означает, что следует стремиться помогать предприятиям в повышении конкурентоспособности. С этой целью в докладе комиссии по сертификации, предоставляемому заявителю, который может быть продемонстрирован коммерческим партнерам, подробно комментируются результаты обследования, проведенного экспертами Центра. Обязательной частью процедуры такой сертификации является и социологический опрос потребителей сертифицируемых изделий, сводка отзывов которых прилагается к докладу. Наконец, в докладе излагаются рекомендации, направленные на повышение конкурентоспособности заявителя.

Наряду с добровольной сертификацией продукции возрастающее применение находит и добровольная сертификация систем менеджмента качества, чаще всего – по правилам Международной организации по стандартизации (ИСО). В связи с этим уме-

стно отметить следующее. Согласно указанным правилам, сертификация систем менеджмента качества имеет целью удостоверить способность предприятия производить доброкачественную и/или экологически безопасную продукцию. Целесообразность подобного подхода очевидна. К сожалению, условия для реализации такой сертификации в нашей стране пока не всегда благоприятны. Не все предприятия в состоянии обеспечить качество и экологическую безопасность продукции, соответствующие сложившимся или прогнозируемым потребностям рынка. Кроме того, разработка, внедрение и сертификация системы менеджмента качества длительны (нередко два-три года) и дорогостоящие (нередко несколько десятков тысяч долларов). Наконец – и это главное – потребителя изделий интересует не только способность предприятия выпускать доброкачественные и безопасные изделия но, прежде всего, конечный результат – реальные их доброкачественность и безопасность. Следовательно, добровольная сертификация систем менеджмента качества и такая же сертификация качества и экологической безопасности готовых изделий не исключают, а дополняют друг друга. Это подтверждается тем, то, что многие предприятия, наряду с информацией о наличии у них сертифицированной системы менеджмента качества, размещают в рекламных посланиях, на фирменных бланках и упаковке изделий изображение сертификационных знаков, свидетельствующих о наличии сертификатов качества и/или экологической безопасности их готовой продукции (рис. 1 и 2).



Рисунок 1



Рисунок 2

Как вывод – оценивая ситуацию на внутреннем и внешнем рынках, в том числе – последствия вступления России во Всемирную торговую организацию (ВТО), имеются основания полагать, что для обеспечения конкурентоспособности российских предприятий деревообрабатывающей промышленности и смежных отраслей, одним из важнейших условий является удостоверение доброкачественности и экологической безопасности их продукции на основе добровольной сертификации.

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЕНТОЧНОПИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В «МАЛОМ» ЛЕСОПИЛЕНИИ

Зобнина В.С. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [eolk@usfeu.ru](mailto:eolk@usfeu.ru)

Терин А.А. (ФГУ «Сухоложский лесхоз, г. Сухой Лог)

### EXPERIENCE of the USING BAND-SAW EQUIPMENT In "SMALL" SAWMILL

Рассматривая проблему развития лесопромышленного производства в России, все специалисты подчеркивают, что при значительном сокращении объемов производства пиломатериалов в стране, одновременно прослеживается тенденция роста количества предприятий, организаций и индивидуальных предпринимателей, занимающихся выпуском пилопродукции. Материалы статистики свидетельствуют о повсеместном развитии малого лесного предпринимательства на территориях, исторически отнесенных к мало- и многолесным регионам страны. Представители малого лесного бизнеса делают упор на организацию узкоспециализированного лесопильного производства или на комбинирование его с другими производствами (лесозаготовками, производством столярных изделий, производством мебели). Кроме того, малое лесопиление часто развивается как подсобное производство аграрных, металлургических, машиностроительных и прочих предприятий.

По результатам обследования, выполненного по нескольким районам Свердловской области, объемы производства пилопродукции на малых предприятиях составляют от нескольких сот до двух десятков тысяч кубометров пиломатериалов в год. Практика работы субъектов малого предпринимательства позволяет обобщить организационно-технологические подходы при создании маломощных лесопильных производств.

Как правило, лесопильное производство базируется на промышленной площадке ранее существовавших, но обанкротившихся райпромкомбинатов, ремонтно-строительных управлений, подсобных цехов заводов, фабрик, совхозов и аграрных производственных кооперативов. Тем самым предприниматели оперативно и без существенных единовременных затрат решают проблему производственной инфраструктуры – системы энергоснабжения, транспортных коммуникаций и площадок для хранения пиловочного сырья и готовой продукции. Для размещения оборудования нередко используют ранее существовавшие сооружения (в основном металлические и деревянные ангары, а также корпуса «разоренных» цехов).

Особенный интерес представляет выбор предпринимателями оборудования для производства пиломатериалов. Как правило, это традиционные лесопильные рамы, смонтированные 25 и более лет назад и эксплуатируемые до настоящего времени. Но задействованы для выпуска продукции и новые горизонтальные ленточнопильные станки. Большинство предприятий имеют комбинацию из лесопильной рамы (типа Р63 в различных комплектациях) и ленточнопильного оборудования.

В период реформирования экономики России (1990-2000 гг.), машиностроители, прогнозируя развитие малого лесопиления, разработали и выпускают широкий спектр ленточнопильных станков для малого лесопильного бизнеса («Старт», Екатеринбург; «Радуга», Воронеж; LPG, ЛЛК, Волгодонск и др.). Кроме отечественных на рынке

представлен и большой выбор ленточнопильных станков малой мощности зарубежных производителей («Wood-Mizer», США; «Canali», Германия; «Primultini», Италия; «Wadkin», Англия и др.).

Чем обусловлен интерес к ленточнопильному оборудованию со стороны предпринимателей? Не исключено, что на выбор оборудования предпринимателем при организации лесопильного предприятия оказали существенное влияние такие характеристики ленточнопильных станков как: низкая потребляемая мощность; относительно не высокая стоимость; простота монтажа и наладки; при относительно низкой норме расхода сырья значительно более высокое качество производимой продукции, чем при использовании традиционных рам. Совокупность указанных позитивных свойств преобладает над основными недостатками ленточнопильного оборудования – не высокая производительность из-за значительных затрат труда на выполнение комплекса около-станочных операций. Изготовители ленточнопильного оборудования, предвзято поставляя на рынок, сразу позиционировали его как «фермерское», Они считают, что низкая производительность ленточнопильного оборудования при не высокой цене оправдана. Но даже при относительно малых масштабах производства оно может стать для собственника «источником Вашего быстрого обогащения» (такая заявка дана во многих рекламных проспектах). Если предприниматели полностью доверились рекламе, то над ними довлело мнение – ленточнопильные станки повсеместно заменят традиционные лесопильные рамы типа Р63.

Активно проводя рекламную кампанию по продвижению на рынок ленточнопильного оборудования, его изготовители, по нашим данным, не выполнили ни одного серьезного технико-экономического обоснования применения ленточнопильных установок в малом лесном бизнесе. По состоянию на 2005 год в открытой печати отсутствует информация о масштабах производства пиломатериалов и других условиях, при которых экономически целесообразно применение ленточнопильного оборудования того или иного типа. Таким образом, предприниматели, приобретая и используя ленточнопильные станки на своих предприятиях, действуют ни в соответствии с результатами технико-экономических обоснований, а эмоционально реагируя на рекламные обещания и стереотипное представление о необходимости «всегда идти в ногу с техническим прогрессом».

Авторы данной публикации используют фактическую информацию о работе ленточнопильного оборудования в действующих малых предприятиях (цехах). На реальных данных по эксплуатации исследуемого типа оборудования предпринята попытка организационно-экономической оценки эффективности применения ленточнопильных станков.

За объекты изучения приняты лесопильные производства трех предприятий. Это: ФГУ «Сухоложский лесхоз» (г.Сухой Лог); ООО «ЛПП Белоярское» и ООО «Строитель» (Белоярский район). Объединяет два последних объекта исследования то, что они возникли на базе ранее существовавших ремонтно-строительных цехов обанкротившихся предприятий (это не касается ФГУ «Сухоложский лесхоз», в котором лесопиление осуществляется более 40 лет). Показательно, что в последнее десятилетие на всех изучаемых предприятиях в дополнение к традиционным лесорамам приобретены ленточнопильные установки различных заводов-изготовителей.

Таблица 1 – Техническая характеристика оборудования, применяемого на предприятиях – объектах исследования

Показатели	ЛП-80 Старт	Радуга-1200	Woodmizer LT 40
Макс. диаметр, мм	850	1200	920
Макс. длина, мм	7000	7000	6100
Мин. толщина пилы, мм	0,9-1,1	0,9-1,2	1,0-1,1
Макс. длина пилы, мм	4925	6650	6230
Диаметр пильных шкивов, мм	560	595	485
Скорость подачи, м/мин	0,05-20	0,5-18	0,5-20
Суммарная мощность двигателей, кВт	11,74	12,9	18,0
Процент выхода обрезных пиломатериалов, % (по фактическим данным)	62,3	60,6	64,6

Ленточнопильные станки на предприятиях – объектах исследования имеют близкие технические характеристики (таблица 1), но они задействованы для выпуска разнообразной продукции и используют пиловочное сырье с различными качественными и количественными характеристиками. Поэтому информация об их работе использована как первичная для выявления наиболее эффективного способа применения горизонтального ленточнопильного оборудования.

Для изучения эффективности использования оборудования первоначально одним из авторов проведены фотохронометражные наблюдения. В результате установлены оперативное время работы оборудования на каждом из предприятий и длительность приемов цикла по распиловке одного бревна. Так как установки задействованы в различных технологических потоках, для обеспечения экономической сопоставимости вариантов использован метод проектных макетов. Все расчеты произведены для пиловочного сырья с одинаковыми физическими характеристиками (бревна диаметром 20-40 см и длиной 6 метров при распиловке на обрезные пиломатериалы толщиной 30 мм).

На II этапе обработки информации использован расчетно-аналитический метод, с помощью которого для каждого образца оборудования установлены длительности цикла по распиловке одного бревна с конкретными характеристиками. Полученные результаты стали основой для определения сменной производительности ленточнопильных установок и традиционной рамы Р63 по известной формуле ( $\frac{Q_{об}}{t_{цикла}}$ ). Зави-

симость сменной производительности исследуемого оборудования от объема бревна представлена на рисунке 1 (при принятых штатах обслуживания).

Сменная производительность традиционной рамы, относительно ленточнопильного оборудования, значительно выше. При сравнении эффективности применения различных типов оборудования определена сумма всех затрат на производство 1 м<sup>3</sup> пиломатериалов (из пиловочных бревен диаметром 32 см и длиной 6 метров) в зависимости от годового объема распиловки сырья.

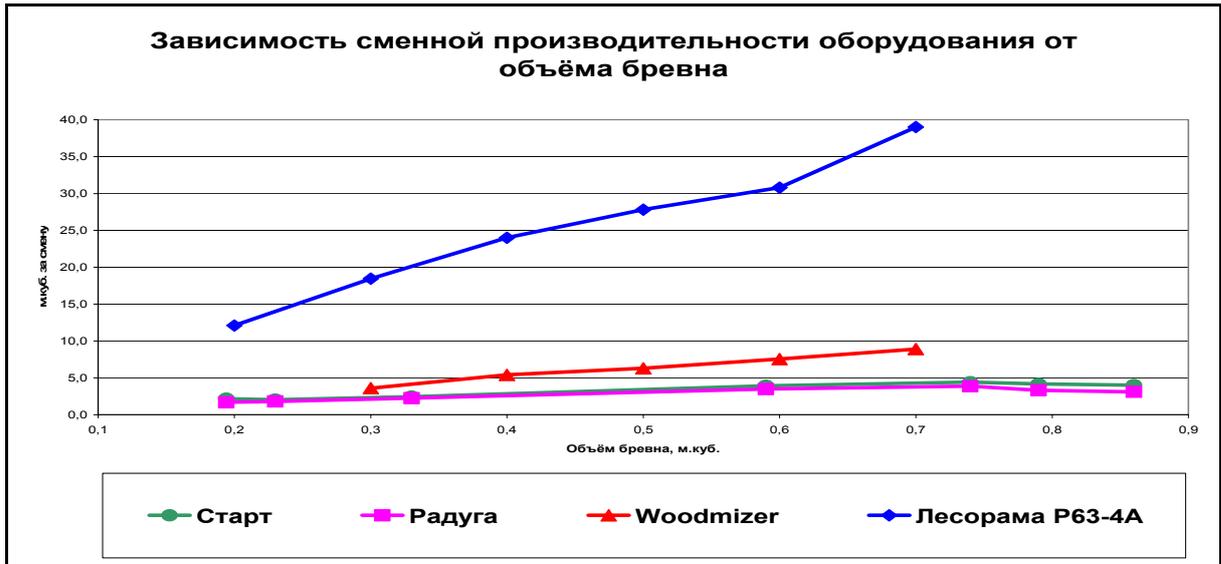


Рисунок 1

Расчеты показывают, что применение ленточнопильного оборудования эффективно при годовом объеме распиловки сырья в размере не более 1750 м<sup>3</sup>. (для ленточнопильной установки – это максимальная годовая производительность при 2-х сменном режиме работы). Особо подчеркиваем факт, что при практически равной себестоимости производства 1 м<sup>3</sup> пиломатериалов их качество различается. Пилопродукция, получаемая на ленточнопильном оборудовании, значительно выше по потребительским свойствам и ее реализуют по более высоким ценам. При годовом объеме менее 750 м<sup>3</sup> пиломатериалов производство будет убыточно.

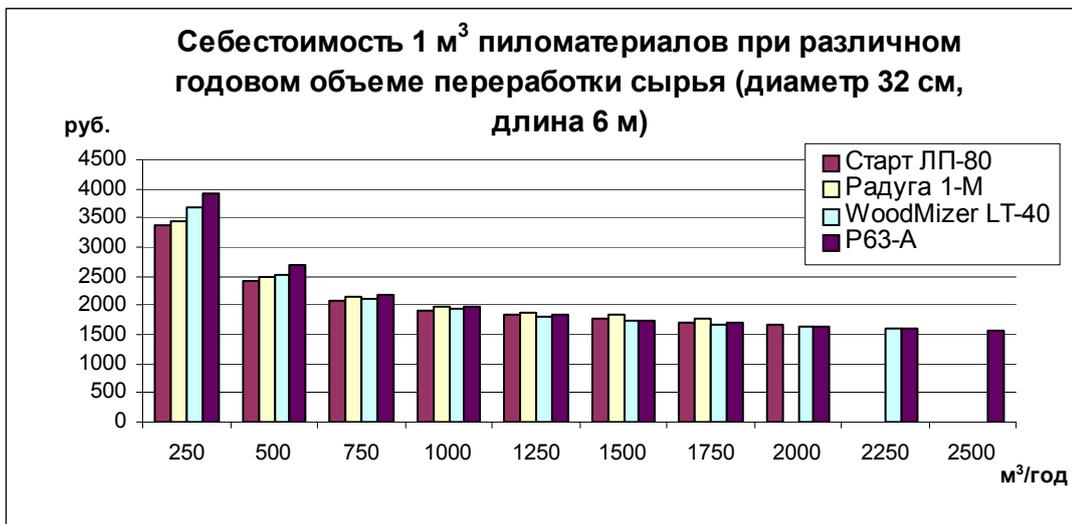


Рисунок 2

В случае с годовым объемом до 2000 м<sup>3</sup> по сырью традиционная лесорама имеет худшие результаты из-за низкого во времени коэффициента загрузки. Ее преимущество над ленточнопильными установками выявляется и далее нарастает, начиная с годового объема производства пиломатериалов 2500 м<sup>3</sup> и более (по сырью).

В заключение отмечаем, что в ближайшее время традиционные лесопильные рамы не сдадут своих позиций (при сравнении с ленточнопильными станками) из-за

узкого диапазона производственных условий, при которых экономически эффективно ленточнопильное оборудование.

В процессе производства пиломатериалов руководители предприятий опытным путем пришли к выводам:

1. В основном отечественные ленточнопильные установки пригодны для мини лесопиления (годовой объем производства пиломатериалов в интервале 750-1500 м<sup>3</sup> по сырью);

2. В малом лесопилении (годовые объемы производства в диапазоне 2-20 тыс. м<sup>3</sup> по сырью) нужны более мощные ленточнопильные установки (типа Wood-Mizer), но применяемые в комбинации с традиционными лесорамами типа Р-63;

3. Организационно эффект достигается в том случае, когда при технологии рамного потока сначала получают двухкантный брус на ленточнопильной установке Wood-Mizer, а затем на пилораме получают обрезные пиломатериалы, строго выдерживая их геометрические параметры;

4. Ленточнопильные установки на производстве периодически задействуют для выпуска высококачественных пиломатериалов с любым сечениями досок по эксклюзивным заказам (при соответствующей контрактной цене);

5. Применение ленточнопильных установок в комбинировании с пилорамами позволяет проводить дифференцированную организационно-технологическую политику в лесопилении, добиваясь должной отдачи от всего оборудования, обеспечивая более высокий выход готовой продукции и расширяя круг потенциальных заказчиков.

Представленные результаты получены при первой попытке изучения проблемы эффективности организации малого лесопиления. В дальнейшем, по мере накопления информации, они будут уточняться и дополняться с целью разработки модели определения эффективности организации малых лесопильных предприятий при заданных параметрах.

*Новые технологические решения в деревообработке и  
отделке*

**СОРТОВОЙ СОСТАВ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ И ВЫХОД  
ПИЛОМАТЕРИАЛОВ И ЗАГОТОВОК ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**Чамеев В.В., Гаева Е.В., Харисов П.Е.** (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

**HIGH-QUALITY STRUCTURE of ROUND FOREST PRODUCTS And  
OUTPUT of SAW-TIMBERS And PREPARATIONS of the GENERAL  
PURPOSE**

При проектировании технологических процессов лесобрабатывающих цехов лесопромышленных предприятий нужны сведения по сортовому составу сырья и выходу готовой продукции из него. Для определения посортного выхода пиломатериалов в ЦНИИМОД разработаны Руководящие техникоэкономические материалы по нормированию расхода сырья и материалов в производстве пиломатериалов (1983 г.), принятые в настоящее время в качестве российских нормативов. Однако нормативы разработаны для пиловочного сырья по ГОСТ 9463-72 и ГОСТ 9462-71. С 1990 г. действуют стандарты на круглые лесоматериалы по ГОСТ 9463-88 и ГОСТ 9462-88. Для разрешения сложившихся противоречий при определении посортного выхода пиломатериалов на кафедре ТиОЛП УГЛТУ разработаны компонент-программы (кп) «СЫРЬЁ» и «ПРОДУКЦИЯ», входящие в комплекс-программу (КП) «ЦЕХ».

Применительно к круглым лесоматериалам из сосны их сортность определяется в двух вариантах: а – в кп «СЫРЬЁ» по ГОСТ 9463-88 на основе математических моделей сырья и ограничений на пороки, приведённые в ГОСТ 9463-88; б – в кп «ПРОДУКЦИЯ» по ГОСТ 9463-72 на базе тех же математических моделей сырья, но с учётом ограничений на пороки по ГОСТ 9462-72. Такой подход позволяет применять в расчётах нормативы ЦНИИМОД посортных выходов пиломатериалов.

Основными сортообразующими пороками в математической модели сырья приняты гниль, сучки и кривизна. I-й сортообразующий порок в математической модели представлен случайной величиной  $X$  с типом вероятностного распределения  $P_x$ , средним значением  $\bar{X}$ , средним квадратическим отклонением (СКО)  $\sigma_x$ , вероятностью его появления  $P_p$  с указанием зависимостей  $P_x$ ,  $\bar{X}$ ,  $\sigma_x$ , и  $P_p$  от доминирующих факторов.

Ниже представлена математическая модель сортообразующих пороков для основных бревен. Параметры модели соответствуют сырью лесопромышленных предприятий Уральского региона. Для составления математической модели были использованы литературные источники и данные кафедры ТиОЛП УГЛТУ. Основные параметры модели сведены в таблице 1.

Наличие гнили в бревнах характеризуется следующими параметрами: встречаемость бревен с гнилью  $P_G$ , в т.ч. со сквозной  $P_{ГС}$  (вероятность встречи бревна с гнилью с выходом на один торец  $P_{ГО} = P_G - P_{ГС}$ ), степень поражения гнилью торцов бревен в долях их толщины  $d_{Г/d}$  (среднее значение  $\bar{d}_{Г/d}$ , стандарт  $\sigma_{dГ/d}$ , закон вероятностного теоретического распределения), протяженностью напённой и стволовой гнили (среднее  $\bar{\ell}_{ГН}$  и  $\bar{\ell}_{ГС}$ , СКО  $\sigma_{ГН}^H$  и  $\sigma_{ГГ}^C$ ).

Встречаемость бревен с гнилью  $P_{Г}$  и  $P_{Гс}$  возрастает с увеличением  $d_i$ , что не противоречит биологическим свойствам древесины к загниванию. Уравнения зависимостей  $\bar{d}_{Г/d}=f(d_i)$  и  $\sigma_{dr/d}=f(d_i)$  следует считать приближенным из-за недостаточного объема исходного статистического материала. Для практических целей использованы значения  $\bar{d}_{Г/d}$  и  $\sigma_{dr/d}$  для сырья из средней группы по толщине ( $d_i \leq 25$  см) и толстомерного сырья ( $d_i \geq 26$  см). Случайная величина  $\bar{d}_{Г/d}$  не противоречит нормальному распределению. Некоторые выборки, с худшей сходимостью, одновременно описываются и законом Эрланга.

Таблица 1 – Содержание сосновых брёвен с пороками и их размерная характеристика

Регрессионные уравнения	Коэффициенты уравнений определены при
$P_{Г} = -0,0007 d_i^2 - 0,0264 d_i + 0,3452$	$14 \leq d_i \leq 40$ см
$P_{Гс} = 0,00005 d_i^2 + 0,0058 d_i + 0,0063$	$15 \leq d_i \leq 35$ см
$\frac{\bar{d}_{Г}}{d} = 0,559$	$d_i \leq 25$ см
$\frac{\bar{d}_{Г}}{d} = 0,581$	$d_i \leq 26$ см
$\sigma_{dr/d} = 0,196$	$d_i \leq 25$ см
$\sigma_{dr/d} = 0,228$	$d_i \leq 26$ см
$l_{ГН} = 40 d_{ГН}^2 + 10 d_{ГН}$	$d_{ГН} \leq 0,18$ м
$l_{ГН} = 500 d_{ГН}^2 + 395 d_{ГН} - 49$	$0,18 < d_{ГН} < 0,26$ м
$\sigma_{l_{ГН}}^H = 0,008953 l_{ГН}^2 + 0,1616 l_{ГН} + 0,03786$ , м	$0,6 \leq d_{ГН} \leq 6,5$ м
$P_C = 0,0008 d_i^2 + 0,0610 d_i + 1,2852$	$12 \leq d_i \leq 40$ см
$\bar{n}_{C1} = 4,34 \frac{\text{шт}}{\text{м}} ; \sigma_n = 1,87 \frac{\text{шт}}{\text{м}}$	
$\bar{d}_C = 0,0134 d_i^2 + 0,7591 d_i + 28,0123$ , мм	$12 \leq d_i \leq 31$ см
$\sigma_{dC} = -0,0116 d_i^2 + 0,9887 d_i + 3,2270$ , мм	$12 \leq d_i \leq 31$ см
$P_K = -0,0002 d_i^2 + 0,0013 d_i + 0,0978$	
$\bar{K} = 3,500\% ; \sigma_K = 2,388\%$	$d_i \leq 25$ см
$\bar{K} = 3,545\% ; \sigma_K = 2,362\%$	$d_i \geq 26$ см

Протяженность напённой гнили в сосновых брёвнах зависит от степени пораженности ею торца. Чем сильнее развита напённая гниль, тем выше она поднимается по стволу. По геометрической форме центральные гнили округлого сечения наиболее близки к параболоиду с образующей в виде параболы. Для бревен комлевой вырезки

длина напённой гнили зависит от диаметра гнили на торце бревен  $d_g$ . Для брёвен из вершинной и срединной частей хлыстов распределение длины стволовой гнили  $l_{гс}$  установить невозможно. Для дальнейших расчётов принимается по равномерному закону.

Для бревен из вершинной и срединной части хлыстов распределение длины стволовой гнили  $l_{гс}$  установить невозможно.

Характеристика сучков в круглых лесоматериалах включает статистические описания: встречаемость бревен с сучками  $P_c$ , число сучков на единицу длины бревна  $n_{c1}$  и толщину сучков  $d_c$ . Доля бревен с сучками уменьшается с увеличением  $d_i$  и существует статистическая связь  $P_c = f(d_i)$ . Число сучков на 1 м длины сосновых бревен описывается нормальным распределением. Анализ значений  $\bar{n}_{c1}$  и СКО  $\sigma_n$ , для разных групп сырья по толщине позволяет в модели принять их независимыми от ступеней толщины сырья. Принятые значения  $\bar{n}_{c1}$  и  $\sigma_n$ , приведены в табл. 1. Средняя толщина сучка  $\bar{d}_c$  и стандарт  $\sigma_{dc}$  находятся в статистической зависимости от  $d_i$ . Эмпирические распределения сучков по толщине не противоречат логарифмическому нормальному

Кривизна  $K$ , как случайная величина, подчиняется вероятностному закону со средним значением  $\bar{K}$  и стандартом  $\sigma_K$ , характеризуется встречаемостью брёвен с кривизной  $P_K$ . У сосны сравнительно небольшое число бревен с кривизной. С увеличением  $d_i$  значение  $P_K$  снижается. Эмпирические распределения кривизны  $K$  асимметричны и одинаково хорошо описываются как логнормальным законом, так и законом Эрланга. Связь статистик  $\bar{K}$  и  $\sigma_K$  с толщиной сырья  $d_i$  очень проблематична. Для практического пользования принимается модель кривизны, приведенная в табл. 1.

Реализация приведённой математической модели на ЭВМ в кп «СЫРЬЁ» позволила получить сортовой состав круглых лесоматериалов из сосны по ГОСТ 9463-88 для выработки пиломатериалов и заготовок общего назначения по ГОСТ 8686-86. При имитационном моделировании потока брёвен для рамной распиловки со средней длиной 6 м в диапазоне средних толщин (диаметров) сырья  $d_{cp}=16 \dots 30$  см с шагом 2 см пиловочные брёвна первого сорта занимают в общем объёме сырья

$$1C = 12,6176 + 0,0001568d_{cp}, \%$$

Соответственно брёвна 2-го и 3-го сортов, %

$$2C = 0,02513d_{cp}^2 - 2,8667d_{cp} + 106,0657;$$

$$3C = -0,04448d_{cp}^2 + 3,5290d_{cp} - 5,0255.$$

Анализ приведённых уравнений регрессий показывает, что с увеличением средней толщины сырья на 1 см круглые лесоматериалы повышенной сортности (1 и 2 с) по ГОСТ 9463-88 уменьшаются в среднем на 1,3 %.

Для определения выхода готовой продукции из сырья используются данные сортового состава сырья по ГОСТ 9463-72, полученные по кп «ПРОДУКЦИЯ», %

$$1C = 12,6176 + 0,0001568d_{cp}^3; \quad 2C = 1322,6388/(7,6550 + d_{cp});$$

$$3C = -0,01725d_{cp}^2 + 1,3432d_{cp} + 3,7799;$$

$$4C = -0,03115d_{cp}^2 + 2,0865d_{cp} - 14,9660.$$

Сопоставление полученных результатов моделирования сортового состава сырья со сведениями, имеющимся в различных источниках позволяют сделать вывод, что математические модели параметров сырья адекватны.

Достижение адекватности математических моделей параметров сырья позволяет, используя нормативы посортных выходов пиломатериалов заложенных в кп «ПРОДУКЦИЯ», определить по ней выход готовой продукции в зависимости от способа раскроя круглых лесоматериалов несортированного и сортированного на размерные группы сырья.

Результаты исследований приведены в таблице 2. При распиловке сырья с брусковой выход пиломатериалов повышенной сортности (1 и 2 с) с увеличением среднего диаметра пиловочных брёвен с 16 до 30 см уменьшается на 2,2%. Общий выход пиломатериалов (ОВ) колеблется от 59,3 до 60,7%. Выход пиломатериалов повышенной сортности при распиловке вразвал при тех же условиях (с увеличением  $d_{CP}$  от 16 до 30 см) увеличивается на 3,6%, а общий выход пиломатериалов ОВ – на 2,6%. Для анализа регрессионных уравнений, полученных по кп «ПРОДУКЦИЯ» и приведённых в табл. 2, сопоставления посортных выходов пиломатериалов при различных условиях раскроя сырья создана программа «ВЫХОД П.М», входящая в КП «ЦЕХ».

Результаты по сортовому составу сырья и выходу готовой продукции из него можно использовать технологом по лесопилению в технологических расчётах, а также при имитационном моделировании технологического процесса лесобработывающего цеха по кп «ПОТОК» комплекс-программы «ЦЕХ» в виде входной информации.

Таблица 2 – Посортный выход сосновых пиломатериалов (ГОСТ 8486-86) для условий Урала при распиловке пиловочного сырья (ГОСТ 9463-88)

Регрессионные уравнения	Коэффициенты уравнений определены при пилении:	№ уравнений
с брусковой из несортированного сырья на обрезные пиломатериалы		
$1C = \frac{1}{0,105 + 64331,551e^{-d_{CP}}}$	$d_{CP} = 16 \dots 30 \text{ см}$	1
$2C = 0,0130d_{CP}^2 - 0,793d_{CP} + 17,846$		2
$3C = 0,00952d_{CP}^2 - 0,540d_{CP} + 31,267$		3
$4C = -0,0119d_{CP}^2 + 1,0524d_{CP} - 2,932$		4
$ОВ = 0,0241d_{CP}^2 - 0,979d_{CP} + 68,512$		5
с брусковой при различных отклонениях диаметра сырья $\pm \Delta d$ , см от поставного $d_{II} = d_{CP} = 20 \text{ см}$		
$1C = -0,0109\Delta d^2 - 0,0108\Delta d + 10,0486$	$\Delta d = \pm 1, \pm 2, \pm 4, \pm 6, \pm 8 \text{ см}$	6
$2C = -0,0157\Delta d^2 + 0,0203\Delta d + 8,0138$		7
$3C = -0,00702\Delta d^2 - 0,197\Delta d + 25,518$		8
$4C = -0,0152\Delta d^2 + 0,00543\Delta d + 12,126$		9
$ОВ = -0,00710\Delta d^2 - 0,467\Delta d + 60,334$		10

с брусковкой из сортировочно-размерных групп сырья $d_{CT}$ с дробностью сортировки $\Delta d=2$ см при $d_{CP}=20$ см		
$1C=-0,00160d_{CT}^2+0,0561d_{CT}+9,345$	$d_{CP}=14 \dots 34$ см	11
$2C=-0,0117d_{CT}^2+0,460d_{CT}+3,563$		12
$3C = \frac{1}{0,0400 + 665,136e^{-d_{CT}}}$		13
$4C=0,00744d_{CT}^2-0,191d_{CT}+12,932$		14
$0B = \frac{1}{0,0168 + 418,229e^{-d_{CT}}}$		15
вразвал из несортированного сырья на необрезные пиломатериалы		
$1C = \frac{1}{0,0808 - 40323,996e^{-d_{CP}}}$	$d_{CP}=16 \dots 30$ см	16
$2C=0,0134d_{CP}^2-0,874d_{CP}+21,520$		17
$3C=-0,000452d_{CP}^2-0,113d_{CP}+34,213$		18
$4C=-0,0238d_{CP}^2+1,743d_{CP}-7,866$		19
$0B=-0,00150d_{CP}^2+0,259d_{CP}+70,708$		20
вразвал из 4-х размерно-сортировочных групп сырья с дробностью сортировки $\Delta d=6$ см при $d_{CP}=20$ см		
$1C=-0,000695d_{CT}^2-0,0236d_{CT}+13,230$	$d_{CT}=16, 22, 28, 34$ см	21
$2C=-0,00486d_{CT}^2+0,0347d_{CT}+11,0136$		22
$3C=-0,00903d_{CT}^2+0,266d_{CT}+29,763$		23
$4C=-0,00903160d_{CT}^2-0,0130d_{CT}+12,602$		24
$0B=-0,00764d_{CT}^2+0,327d_{CT}+70,470$		25

## ВЛИЯНИЕ РАСКРЯЖЕВКИ ДЕРЕВА У ПНЯ НА СОХРАННОСТЬ КОМПОНЕНТОВ ЛЕСА

Иванов В.В., (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [victor.82@mail.ru](mailto:victor.82@mail.ru)

### THE INFLUENCE CUTTING OF THE TREE AT THE STUMP ON SAFETY OF FOREST COMPONENTS

Рубки ухода и несплошные рубки главного и промежуточного пользования малой интенсивности предполагают использование широкопосечных технологий изреживания древостоя.

При ширине пасаки 100 м и более в процессе выполнения рубок под пологом древостоя при перемещении лесозаготовительной машины (ЛЗМ) и заготовленных на пасаках лесоматериалов (хлысты, сортименты) к волоку, существует риск повреждения оставляемых на дорашивание деревьев и подроста.

С целью минимизации повреждений компонентов леса, перемещение под пологом древостоя ЛЗМ и трелевка лесоматериалов осуществляется по криволинейному маршруту. Такой способ используется при необходимости максимального сохранения куртин подроста, целевых деревьев при рубках ухода и основан на максимальном использовании прогалин и при объезде препятствий. Условно будем считать, что все перемещения ЛЗМ складываются из движений двух типов: по прямой и с поворотом относительно некоторой точки. Контур машины должен при этом перемещаться в пределах полосы свободной от деревьев. Выбор маршрута перемещения ЛЗМ между рабочими позициями должен учитывать координаты деревьев. Полосу передвижения можно рассчитать, зная длину, ширину и радиус поворота машины. Деревья, оставляемые на дорашивание, и отстоящие от границы волока на величину меньше безопасного расстояния, считаются поврежденными. При движении по прямой ширина полосы равна ширине машины, а при движении по криволинейному участку ее границы определяются ближней и дальней точками машины по отношению к центру поворота, т.е. радиусами  $r_1$  и  $r_2$ . Радиус круга, по которому осуществляется объезд препятствия, определяется взаимным положением ЛЗМ и препятствия. Возможность объезда препятствия (дерева оставляемого на дорашивание или др.) по рассчитанному радиусу определяется расстоянием до другого объекта, препятствующего проезду.

При расстоянии между центрами двух препятствий (деревьев)  $l_d$  диаметры стволов и диаметры безопасных зон соответственно  $d$  и  $d_b$ , а  $b_b$  ширина полосы необходимая для перемещения колесной ЛЗМ при повороте (рисунок 1) составит

$$b_b = \sqrt{l_m^2 + (R_{nj} + b_m)^2} - R_{nj}$$

где  $l_m$  – длина ЛЗМ, м;

$b_m$  – ширина ЛЗМ, м.

Если  $l_d - d_b > b_b$ , то ЛЗМ проходит между деревьями. Если  $l_d - d_b < b_b$  то ЛЗМ не может пройти между этими двумя деревьями. Во всех остальных случаях в той или иной мере повреждаются оба дерева.

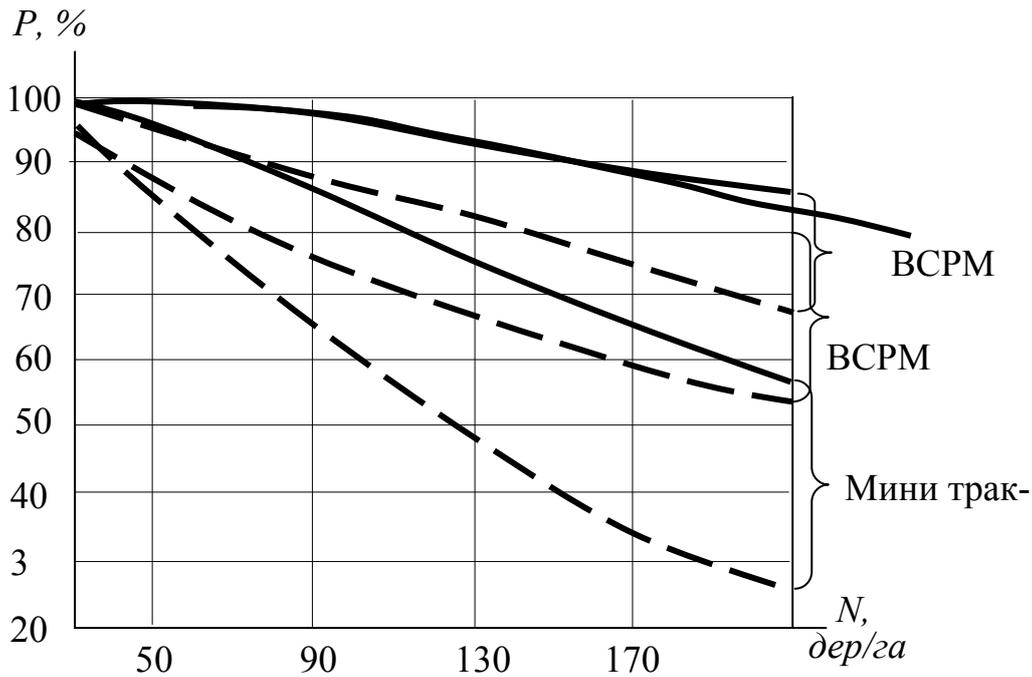


Рисунок 1 - Вероятность повреждения деревьев при перемещении ЛЗМ под пологом древостоя: (сплошная линия) - вероятность объезда дерева; (пунктирная линия) - вероятность пересечения ЛЗМ зоны безопасности огибаемого дерева

Рассмотренный алгоритм перемещения может использоваться для решения на типологической основе следующих основных прикладных задач:

- исследование и обоснование технологии лесосечных работ в заданных природно-производственных условиях;
- оптимизация отдельных параметров машин, предназначенных для определенного технологического процесса;
- оценка качества выполнения несплошных рубок по различным технологиям.

Так возможность работы ЛЗМ вне волока может характеризоваться возможностью ее перемещения в насаждении с формируемой густотой насаждения. Полоса, необходимая для перемещения трелевочного мини трактора типа «железный конь», ВСПМ «Макиери 33Т» и «ФМГ-470» при максимальном маневрировании составляет соответственно 2,5, 1,7 и 2,2 метра. Вероятность проезда, между двумя деревьями для этих машин в зависимости от густоты древостоя, показана на рисунке сплошной линией. Расстояние между деревом и ЛЗМ при объезде менее 0,5 м рассматривается как неизбежное повреждение дерева в той или иной мере. Вероятность этого события на рисунке соответствует пунктирной линии. Соответственно, зоны между пунктирными и сплошными линиями определяют вероятность повреждения деревьев при этих условиях.

Таким образом, возможность перемещения ЛЗМ под пологом древостоя в заданном направлении с вероятностью объезда деревьев оставляемых на доращивание не менее 90% обеспечивается только при густотах соответствующих несплошным рубкам главного пользования. Худшие показатели при трелевке. Даже трелевка короткомерных

лесоматериалов мини трактором может обеспечиваться в заданном направлении с 90% вероятностью при густоте до 700 дер/га. При этом до 15% деревьев может быть повреждены в той или иной степени.

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ**

Сазонова Е.А. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [saz-elena@yandex.ru](mailto:saz-elena@yandex.ru)

### **THE ANALYSE TECHNOLOGICAL PROCESSES ON BASIS THEORI OF GRAF**

Технологический процесс представляет собой упорядоченный набор операций. Каждую операцию выполняет определенный тип оборудования или система машин, где предмет труда как промежуточный продукт поступает к следующему механизму для дальнейшей обработки или выпускается как конечный продукт. Технологический процесс организуется на базе сложной системы машин, состоящей из ряда взаимодействующих подсистем и элементов.

Рассмотрим анализ технологических процессов производства круглых лесоматериалов на примере лесосечных работ. Наиболее точно этот анализ можно осуществить построением математической модели при помощи теории графов, которая предусматривает процесс формирования технологических процессов с применением необходимых операций и последовательности их выполнения.

Основная цель анализа графов по предмету труда технологических процессов лесосечных работ состоит в определении технологических топливных чисел по каждой системе лесосечных машин. Этим достигается возможность обоснованного выбора лесосечных машин и механизмов по минимальному технологическому топливному числу.

Технологическое топливное число (ТТЧ) – затраты всех видов энергии в технологическом процессе, пересчитанных на необходимое для их получения условное топливо за вычетом вторичных энергоресурсов на единицу продукции. Технологическое топливное число отражает объективные энергетические затраты технологического процесса, является показателем энергоемкости продукции лесосечных работ [1].

Разработаны графы лесосечных работ по предмету труда, которые дают возможность представить технологические процессы как логическую последовательность технологических операций лесосечных работ.

Анализ разработанных графов позволяет: уточнить схему существующего процесса лесосечных работ; построить схему связей между технологическими операциями; выявить необходимые этапы лесосечных работ; исключить нецелесообразное дублирование операций; определить технологические возможности систем машин; выявить и оценить структуру и потоки лесоматериалов; вскрыть взаимосвязи между элементами системы.

Представим операции технологического процесса лесосечных работ в виде сетевой модели (графа), состоящей из вершин и дуг, соединяющих соответствующие

вершины графа. При этом вершины графа будут отображать операции, а дуги графа отображают связи между соответствующими операциями. Модель рассмотрена как «дуга-работа»

Следует обратить внимание на важнейшие свойства сетевых графиков:

1. Ни одно событие не может произойти до тех пор, пока не будут закончены все входящие в него работы.
2. Ни одна работа, выходящая из данного события, не может начинаться до тех пор, пока не произойдет данное событие.
3. Ни одна последующая операция не может начинаться раньше, чем будут закончены последующие работы [2].

Граф технологического процесса лесосечных работ для деревьев представлен на рис. 1.

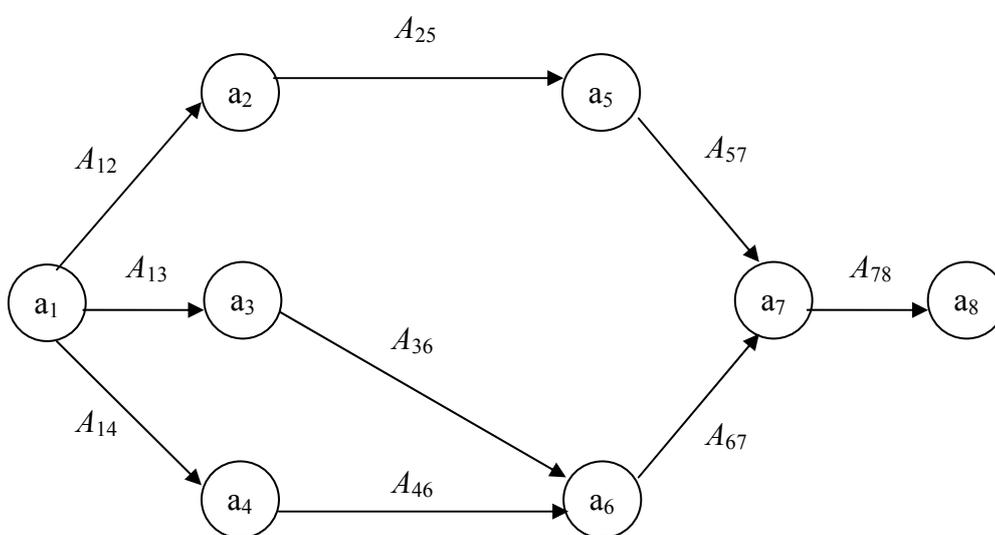


Рис. 1. Граф технологического процесса лесосечных работ для деревьев

Таблица 1 – Перечень событий

Обозначение событий	Наименование событий
a <sub>1</sub>	Окончание прибытия вальщика или машины и начало валки деревьев
a <sub>2</sub> ; a <sub>3</sub> ; a <sub>4</sub>	Окончание валки деревьев и начало трелевки деревьев
a <sub>5</sub> ; a <sub>6</sub>	<b>Окончание трелевки деревьев и начало погрузки деревьев</b>
a <sub>7</sub>	Окончание погрузки деревьев и начало вывозки деревьев
a <sub>8</sub>	Окончание вывозки деревьев

Таблица 2 – Перечень основных работ

Обозначение работ	Наименование работ	ТТЧ, кг у.т./м <sup>3</sup>	Предшеств. работы	Послед. работы
A <sub>12</sub>	Валка деревьев «Крона 202»	0,3	-	A <sub>25</sub>
A <sub>13</sub>	Валка деревьев «Хюскварна 242ХР»	0,4	-	A <sub>36</sub>
A <sub>14</sub>	Валка деревьев ЛП-19	1,1	-	A <sub>46</sub>
A <sub>25</sub>	Трелевка деревьев ТДТ-55А	4,7	A <sub>12</sub>	A <sub>57</sub>
A <sub>36</sub>	Трелевка деревьев ТБ-1М	4,7	A <sub>13</sub>	A <sub>67</sub>
A <sub>46</sub>	Трелевка деревьев ТБ-1М	4,7	A <sub>14</sub>	A <sub>67</sub>
A <sub>57</sub>	Погрузка деревьев ПЛ-1В	0,7	A <sub>25</sub>	A <sub>78</sub>
A <sub>67</sub>	Погрузка деревьев ПЛ-1В	0,7	A <sub>36</sub> A <sub>46</sub>	A <sub>78</sub>
A <sub>78</sub>	Вывозка деревьев МА3-54-53	2,0	A <sub>57</sub> A <sub>67</sub>	-

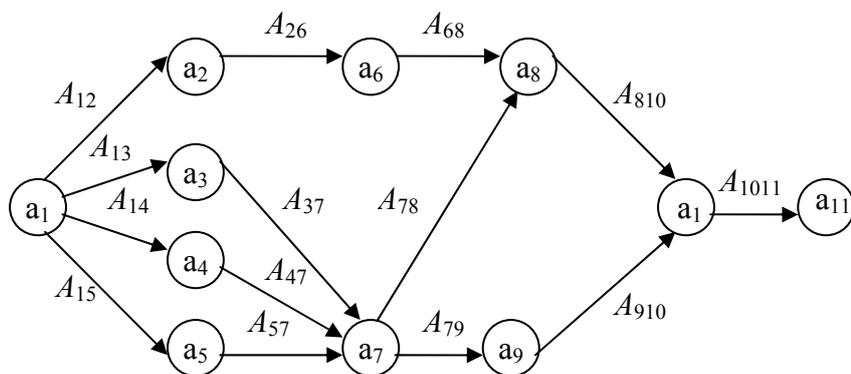


Рис. 2. Граф технологического процесса лесосечных работ

Граф технологического процесса лесосечных работ для хлыстов представлен на рис. 2.

Таблица 3 – Перечень событий

Обозначение событий	Наименование событий
a <sub>1</sub>	Окончание прибытия вальщика или машины и начало валки деревьев
a <sub>2</sub> ; a <sub>3</sub> ; a <sub>4</sub> ; a <sub>5</sub>	Окончание валки деревьев и начало обрезки сучьев
a <sub>6</sub> ; a <sub>7</sub>	<b>Окончание обрезки сучьев и начало трелевки хлыстов</b>
a <sub>8</sub> ; a <sub>9</sub>	Окончание трелевки хлыстов и начало погрузки хлыстов
a <sub>10</sub>	Окончание погрузки хлыстов и начало вывозки хлыстов
a <sub>11</sub>	Окончание вывозки хлыстов

Таблица 4 – Перечень основных работ

Обозначение работ	Наименование работ	ТТЧ, кг у.т./м <sup>3</sup>	Предшеств. работы	Послед. работы
A <sub>12</sub>	Валка деревьев «Штиль 020»	0,8	-	A <sub>26</sub>
A <sub>13</sub>	Валка деревьев ЛП-19В	1,1	-	A <sub>37</sub>
A <sub>14</sub>	Валка деревьев ЛП-2	2,3	-	A <sub>47</sub>
A <sub>15</sub>	Валка деревьев «Крона 202»	0,3	-	A <sub>57</sub>
A <sub>26</sub>	Обрезка сучьев «Штиль 020»	0,8	A <sub>12</sub>	A <sub>68</sub>
A <sub>37</sub>	Обрезка сучьев «Крона 202»	0,8	A <sub>13</sub>	A <sub>79</sub>
A <sub>47</sub>	Обрезка сучьев «Крона 202»	0,8	A <sub>14</sub>	A <sub>79</sub>
A <sub>57</sub>	Обрезка сучьев «Крона 202»	0,8	A <sub>15</sub>	A <sub>79</sub>
A <sub>68</sub>	Трелевка деревьев ТДТ-55А	4,7	A <sub>26</sub>	A <sub>810</sub>
A <sub>78</sub>	Трелевка деревьев ТДТ-55А	4,7	A <sub>37</sub> ; A <sub>47</sub> ; A <sub>57</sub>	A <sub>810</sub>
A <sub>79</sub>	Трелевка деревьев ТБ-1М	4,7	A <sub>37</sub> ; A <sub>47</sub> ; A <sub>57</sub>	A <sub>910</sub>
A <sub>810</sub>	Погрузка деревьев ПЛ-1В	0,7	A <sub>68</sub> ; A <sub>78</sub>	A <sub>1011</sub>
A <sub>910</sub>	Погрузка деревьев ПЛ-1В	0,7		
A <sub>1011</sub>	Вывозка хлыстов МА3-54-53	2,0	A <sub>810</sub> ; A <sub>910</sub>	

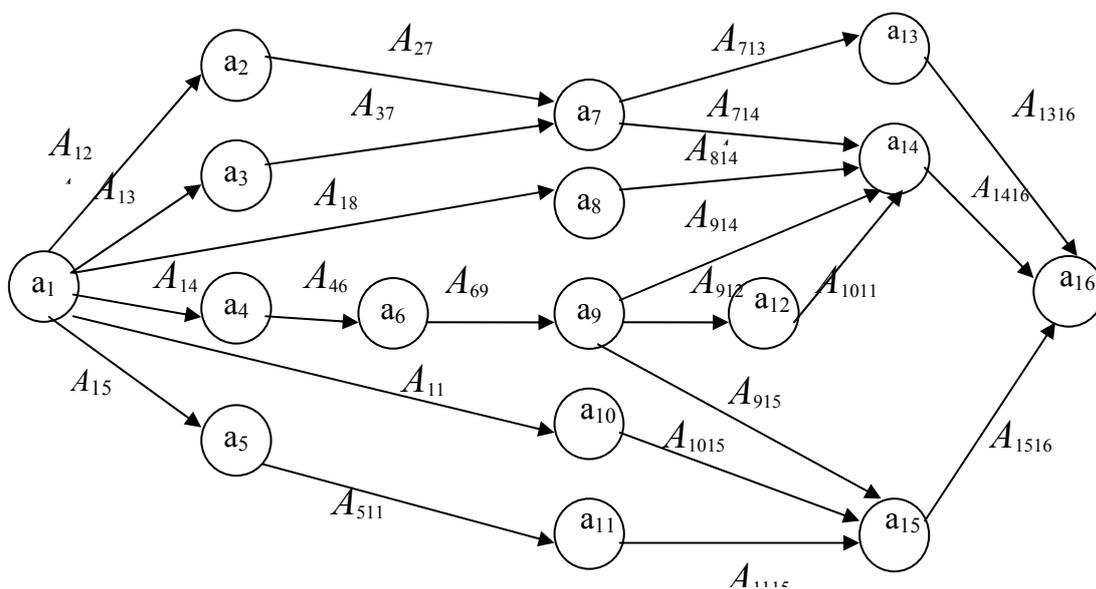


Рис. 3. Граф технологического процесса лесосечных работ для сортиментов

Граф технологического процесса лесосечных работ для сортиментов представлен на рис. 3.

Таблица 5 – Перечень событий

Обозначение событий	Наименование событий
a <sub>1</sub>	Окончание прибытия вальщика или машины и начало валки деревьев
a <sub>2</sub> ; a <sub>3</sub> ; a <sub>5</sub>	Окончание валки деревьев и начало обрезки сучьев и раскряжевки хлыстов
a <sub>4</sub>	
a <sub>6</sub>	<b>Окончание валки деревьев и начало обрезки сучьев</b>
a <sub>7</sub> ; a <sub>8</sub> ; a <sub>9</sub> ;	<b>Окончание обрезки сучьев и начало раскряжевки хлыстов</b>
a <sub>10</sub> ; a <sub>11</sub>	Окончание раскряжевки хлыстов и начало погрузки сортиментов
a <sub>9</sub>	Окончание раскряжевки хлыстов и начало трелевки сортиментов
a <sub>12</sub>	Окончание трелевки сортиментов и начало погрузки сортиментов
a <sub>13</sub> ; a <sub>14</sub> ; a <sub>15</sub>	Окончание погрузки сортиментов и начало вывозки сортиментов
a <sub>16</sub>	Окончание вывозки сортиментов

Таблица 6 – Перечень основных работ

Обозначение работ	Наименование работ	ТТЧ, кг у.т./м <sup>3</sup>	Предшеств. работы	Послед. работы
A <sub>12</sub>	Валка деревьев «Хюскварна 242XP»	0,4	-	A <sub>27</sub>
A <sub>13</sub>	Валка деревьев ЛП-17	4,8	-	A <sub>37</sub>
A <sub>18</sub>	Валка, обрезка, раскряжевка МЛ-20	4,5	-	A <sub>814</sub>
A <sub>14</sub>	Валка деревьев «Крона 202»	0,3	-	A <sub>46</sub>
A <sub>110</sub>	Валка, обрезка, раскряжевка «Валмет 901»	0,3	-	A <sub>1015</sub>
A <sub>15</sub>	Валка деревьев ЛП-19В	1,2	-	A <sub>511</sub>
A <sub>27</sub>	Обрезка, раскряжевка ЛО-120	2,7	A <sub>12</sub>	A <sub>713</sub> A <sub>714</sub>
A <sub>37</sub>	Обрезка, раскряжевка ЛО-120	2,0	A <sub>13</sub>	A <sub>713</sub> A <sub>714</sub>
A <sub>46</sub>	Обрезка «Крона 202»	0,5	A <sub>14</sub>	A <sub>69</sub>
A <sub>69</sub>	Раскряжевка «Крона 202»	0,6	A <sub>46</sub>	A <sub>914</sub> A <sub>912</sub> A <sub>915</sub>
A <sub>511</sub>	Обрезка, раскряжевка ЛО-123	6,5	A <sub>15</sub>	A <sub>1115</sub>
A <sub>713</sub>	Трелевка деревьев ТБ-1М	4,7	A <sub>27</sub> A <sub>37</sub>	A <sub>1316</sub>
A <sub>714</sub>	Погрузка, вывозка ТБ-1М-16	1,1	A <sub>27</sub> A <sub>37</sub>	A <sub>1416</sub>
A <sub>814</sub>	Погрузка, вывозка ТБ-1М-16	1,1	A <sub>18</sub>	A <sub>1416</sub>
A <sub>914</sub>	Погрузка, вывозка ТБ-1М-16	1,1	A <sub>69</sub>	A <sub>1416</sub>

Окончание табл. 6				
A <sub>912</sub>	Трелевка ТДТ-55А	4,7	A <sub>69</sub>	A <sub>1214</sub>
A <sub>1214</sub>	Погрузка, вывозка ТБ-1М-16	1,1	A <sub>912</sub>	A <sub>1416</sub>
A <sub>915</sub>	Погрузка, вывозка «Валмет 820»	0,9	A <sub>69</sub>	A <sub>1516</sub>
A <sub>1015</sub>	Валка, обрезка, раскряжевка «Валмет 901»	0,3	A <sub>110</sub>	A <sub>1516</sub>
A <sub>1115</sub>	Погрузка, вывозка «Валмет 820»	0,9	A <sub>511</sub>	A <sub>1516</sub>
A <sub>1316</sub>	Вывозка хлыстов МАЗ-54-53	2,0	A <sub>713</sub>	-
A <sub>1416</sub>	Вывозка хлыстов МАЗ-54-53	2,0	A <sub>714</sub> A <sub>814</sub> A <sub>914</sub> A <sub>1214</sub>	-
A <sub>1516</sub>	Вывозка хлыстов МАЗ-54-53	2,0	A <sub>915</sub> A <sub>1015</sub> A <sub>1115</sub>	-

Разработанные графы обработаны по специальной программе для расчета сетевых графов SEPL, разработанной на кафедре технологии и оборудования лесопромышленного производства Уральского государственного лесотехнического университета.

Получены критические пути для деревьев:  $a_1 - a_4 - a_6 - a_7 - a_8$ ; для хлыстов:  $a_1 - a_4 - a_7 - a_8 - a_{10} - a_{11}$ ,  $a_1 - a_4 - a_7 - a_9 - a_{10} - a_{11}$ ; для сортиментов:  $a_1 - a_3 - a_7 - a_{13} - a_{14}$ . Критические пути выявляют системы машин с максимальным технологическим топливным числом, а также показывают резервы экономии, что позволяет экономить энергетические ресурсы и, соответственно, повышать эффективность технологических процессов лесосечных работ. Соответственно представленному анализу технологических топливных чисел технологических процессов лесосечных работ выстраивается ряд лесосечных машин и механизмов от более эффективных к менее эффективным.

Данный ряд представляется следующим образом: 1) лесные комбайны или моторные инструменты; 2) лесозаготовительные машины или моторный инструмент; 3) однооперационные лесозаготовительные машины.

Представление лесосечных работ в виде графов по предмету труда позволяет систематизировать варианты развития, анализировать и прогнозировать многовариантное развитие технологического процесса лесосечных работ.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Розин С.Е., Дружинина О.Г. Методология и информационное обеспечение сквозного энергетического анализа. Екатеринбург: УГТУ, 2001. – 98 с.
2. Пижурин А.А., Розенблит М.С. Основы моделирования и оптимизация процессов деревообработки: Учебник для ВУЗов. М.: Лесн. пром-ть, 1988. – 296 с.

## ОБЪЕМ СБЕГОВОЙ ЗОНЫ БРЕВЕН

Уласовец В. Г. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [mod@usfea.ru](mailto:mod@usfea.ru)

## VOLUME OF A SIDE ZONE OF LOGS

В соответствии с данными лесной таксации при большом разнообразии образующих поверхности стволов деревьев основной объем пиловочных бревен имеет форму, близкую к усеченному параболоиду или усеченному конусу [1, 2]. При этом общий объем любого бревна  $V$ , можно выразить формулой

$$V = V_u + V_{сб}, \quad (1)$$

где  $V_u$  - объем цилиндрической части бревна, который принято называть цилиндрической кубатурой бревна, равный

$$V_u = \frac{\pi}{4} d^2 L, \quad (2)$$

где  $d$  - диаметр бревна в вершине;

$L$  - длина бревна.

$V_{сб}$  - объем сбеговой зоны бревна.

При форме ствола приравненной к усеченному параболоиду вращения объем бревна вычисляют по формуле

$$V_{ус.п} = \frac{\pi}{4} \left( \frac{D^2 + d^2}{2} \right) L, \quad (3)$$

где  $D$  - диаметр бревна в комле;

При форме ствола приравненной к усеченному конусу объем бревна вычисляют по формуле

$$V_{ус.к} = \frac{\pi}{4} \left( \frac{D^2 + Dd + d^2}{3} \right) L. \quad (4)$$

С учетом того, что  $D = dK$  формулы (3 и 4) будут выглядеть следующим образом:

$$V_{ус.п} = \frac{\pi d^2}{4} L \left( \frac{K^2 + 1}{2} \right), \quad (5)$$

$$V_{ус.к} = \frac{\pi d^2}{4} L \left( \frac{K^2 + K + 1}{3} \right). \quad (6)$$

Из выражений 5 и 6 видно, что исследуемый объем зависит от величины вершинного диаметра бревна, его длины и коэффициента сбega  $K$ .

С увеличением коэффициента сбega происходит увеличение объема бревна за счет увеличения сбеговой зоны  $V_{сб}$ , величину которой можно рассчитать по следующей формуле:

- для усеченного параболоида

$$V_{сб.ус.п} = \frac{\pi d^2}{4} \left( \frac{K^2 - 1}{2} \right) L, \quad (7)$$

при этом объем зоны сбega от объема всего бревна составит, %,

$$V_{сб.ус.н(\%)} = \frac{K^2 - 1}{K^2 + 1} 100; \quad (8)$$

а объем цилиндрической кубатуры от объема всего бревна составит, %

$$V_{ц.ус.н(\%)} = \frac{200}{K^2 + 1}. \quad (9)$$

- для усеченного конуса величину сбеговой зоны  $V_{сб}$  можно рассчитать по следующей формуле:

$$V_{сб.ус.к} = \frac{\pi d^2}{4} L \left( \frac{K^2 + K - 2}{3} \right), \quad (10)$$

при этом объем зоны сбега от объема всего бревна составит, %,

$$V_{сб.ус.к(\%)} = \frac{K^2 + K - 2}{K^2 + K + 1} 100, \quad (11)$$

а объем цилиндрической кубатуры от объема всего бревна составит, %

$$V_{ц.ус.к(\%)} = \frac{300}{K^2 + K + 1}. \quad (12)$$

На графике (рисунке 1), построенном по формулам (8) и (11), показано изменение (в %) объема сбеговой зоны в объеме бревна в зависимости от формы образующей бревна и его коэффициента сбега.

Из графика (рис. 1) видно, что для всех значений коэффициентов сбега объем сбеговой зоны в бревнах, форма которых приравнена к усеченному параболоиду, больше, чем у имеющих форму усеченного конуса, причем с увеличением коэффициента сбега от  $K = 1,05$  до  $K = 1,7$  объем сбеговой зоны бревен, приравненных к усеченному параболоиду, изменяется от 4,87% до 48,6%, а в бревнах, приравненных к усеченному конусу, – от 4,84% до 46,3%.

Из приведенных выше данных (рисунок 1) видно, что объем сбеговой зоны бревен с любой боковой образующей значителен, поэтому разработка теоретических решений по ее рациональному раскрою представляется важнейшей технической и экономической задачей лесопиления.

Относительные изменения объемов сбеговых зон и объемов бревен в зависимости от их формы и величины коэффициентов сбега представлены на графике (рисунок 2). На верхней кривой графика (рисунок 2) показана величина отношения (в %) разности объемов сбеговых зон бревен, имеющих форму усеченного параболоида и усеченного конуса, к объему сбеговой зоны бревна, имеющего вид усеченного параболоида.

При изменении коэффициентов сбега от  $K = 1,05$  до  $K = 1,7$  относительная разность объемов сбеговых зон бревен изменяется соответственно от 0,8 до 8,6%. Нижняя кривая на этом графике изображает величину отношения (в %) разности объемов бревен формы усеченный параболоид и усеченный конус к объему бревна формы усеченный параболоид.

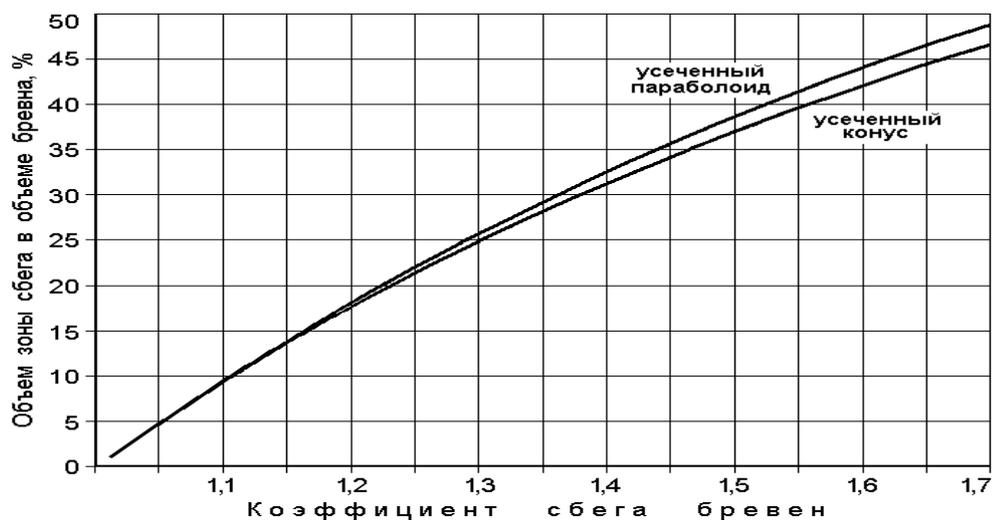


Рисунок 1– Изменение объема сбеговой зоны бревна

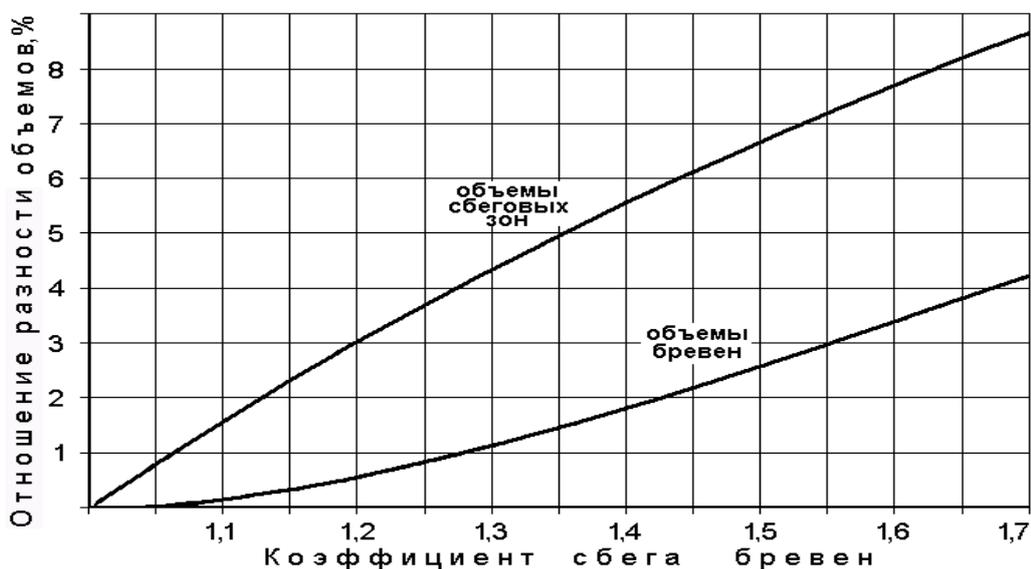


Рисунок 2 – Изменение объемов сбеговых зон и объемов бревен в зависимости от их формы и величины коэффициентов сбега

При изменении коэффициентов сбега от  $K = 1,05$  до  $K = 1,7$  исследуемая относительная разность объемов бревен увеличивается соответственно от 0,04 до 4,2%.

Отмеченные выше закономерности изменения объемов бревен и их сбеговых зон, связанные с различной формой образующих, которую необходимо учитывать при теоретических исследованиях, связанных с поиском рациональных схем и способов раскря пиловочника на пилопродукцию.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анучин Н.П. Лесная таксация /Н.П. Анучин. - М.: Лесн. пром-сть, 1982. - 530 с.
2. Аксенов П.П. Теоретические основы раскря пиловочного сырья / П.П. Аксенов - М.: - Л.: Гослесбумиздат, 1960. - 216 с.

## РАЗМЕРЫ ДОСОК, ВЫПИЛИВАЕМЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНО ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ БРЕВЕН

Уласовец В. Г., (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [mod@usfea.ru](mailto:mod@usfea.ru)

### THE SIZES OF BOARDS CUT IN BRIDGE OF A DIRECT AXIS OF LOGS

Совершенствование технологических процессов в лесопилении является актуальной научно-технической проблемой, связывающей теорию раскря пиловочного сырья с бережным использованием лесных ресурсов государства. Размерные и качественные показатели пиловочного сырья определяют выбор оборудования, возможные виды пилопродукции и организацию технологического процесса лесопиления. При этом величина объемного выхода пиломатериалов из пиловочного сырья зависит от формы и объема ствола бревна схем и способов его раскря.

Известно, что практическое решение задач составления рациональных поставок затруднено тем, что для досок, входящих в постав, должны существовать оптимальные по толщине, ширине и длине размеры, зависящие от величины диаметра и коэффициента сбега бревна, способа его распиловки, количества досок в поставе, толщины применяемого режущего инструмента, необходимости выпиливать сечения пиломатериалов по спецификации потребителя.

Характер изменения оптимальных ширин обрешных досок, выпиливаемых параллельно продольной оси из боковой зоны бревен, форма которых приравнена к усеченному параболоиду или усеченному конусу, в зависимости от коэффициентов сбега бревен и положения досок в поставе представлен на рисунке 1.

С увеличением коэффициента сбега значение оптимальной ширины досок для бревен исследуемых форм увеличивается. С увеличением величины охвата пластей досок поставом (т. е. с увеличением расстояния от центра бревна до наружных пластей досок) значения оптимальных ширин уменьшаются.

Относительная разность (в %) величин оптимальных ширин досок для бревен сравниваемых форм представлена на графике (рисунок 2).

При  $E_i \geq E_{ниф.к}$  наибольшее превышение размеров оптимальных ширин досок, выпиливаемых из бревен с формой ствола усеченный параболоид в сравнении с бревнами формой усеченный конус, составляет: 9,95% для бревен, имеющих коэффициент сбега  $K = 1,7$ ; 8,71% при  $K = 1,6$ ; 7,42% при  $K = 1,5$ ; 6,07% при  $K = 1,4$ ; 4,65% при  $K = 1,3$ ; 3,17% при  $K = 1,2$ ; 1,63% при  $K = 1,1$ .

С увеличением охвата относительная разность уменьшается.

Максимальное расстояние  $E_{ниф.к}$  между симметричными наружными пластинами необрешных досок, при котором их обрезают, начиная с вершинного диаметра по всей длине бревна, формой ствола которого является усеченный конус, вычисляют из условия [1]

$$l_o = \frac{3D - \sqrt{D^2 + 8E_{кр.к}^2}}{4c} = L, \quad (1)$$

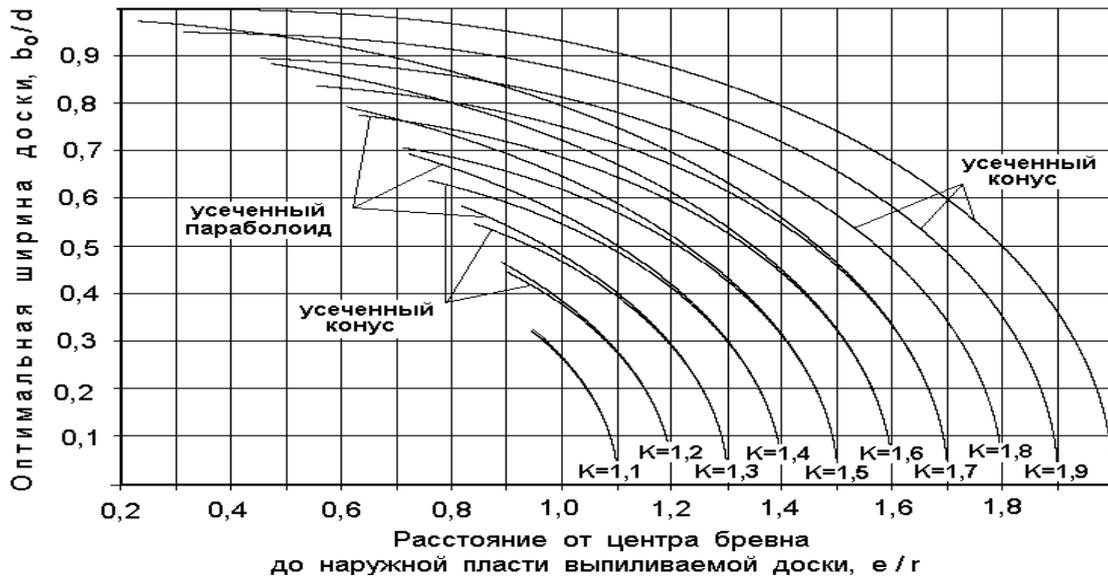


Рисунок 1 – Изменение величин оптимальных ширин досок, выпиливаемых из боковой зоны бревен параболической и конической формы

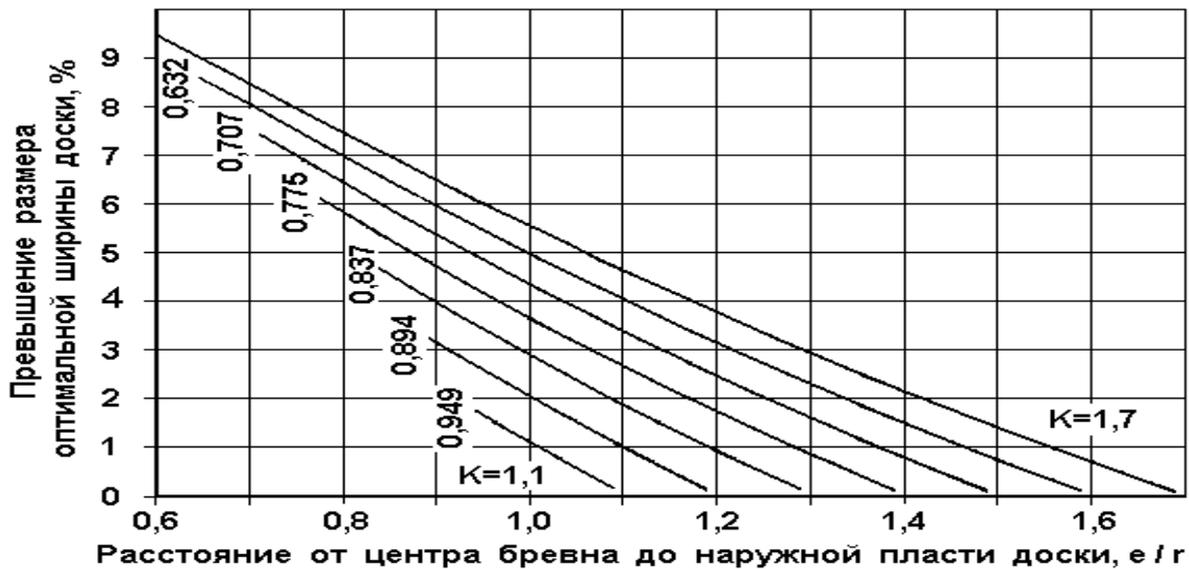


Рисунок 2 – Превышение размеров оптимальных ширин обрезных досок, выпиленных из боковой зоны бревен различной формы

откуда 
$$E_{ниф.к} = d\sqrt{2 - K} . \quad (2)$$

Из выражения (2) видно, что величина  $E_{ниф.к}$  зависит от величины коэффициента сбег бревна и при  $K = 2,0$  принимает нулевое значение.

При  $E_i \leq E_{ниф.к}$  оптимальная длина выпиливаемой доски равна длине бревна, т. е.  $l_o = L$ , а оптимальную ширину доски рассчитывают по его вершинному диаметру  $b_o = \sqrt{d^2 - E_i^2}$ .

При  $E_i > E_{ниф.к}$  оптимальную длину и оптимальную ширину досок определяют по формулам

$$l_o = \frac{3D - \sqrt{D^2 + 8E_i^2}}{4c} . \quad (3)$$

$$b_o = \sqrt{\frac{D^2 + D\sqrt{D^2 + 8E_i^2} - 4E_i^2}{8}} \quad (4)$$

Характер изменения величины  $E_{ниф.}$  в зависимости от коэффициентов сбега и формы бревен показан на рис. 3. Из графика (рисунок 3) видно, что с увеличением коэффициента сбега бревна значения  $E_{ниф.}$  уменьшаются независимо от вида формы бревен, а разница этих значений увеличивается. При изменении коэффициента сбега от  $K = 1,1$  до  $K = 1,4$  величина  $E_{ниф.}$  изменяется: для бревен, имеющих форму усеченного параболоида от  $0,946d$  до  $0,721d$ , для усеченного конуса – соответственно от  $0,948d$  до  $0,775d$ .

Значение величины  $E_{ниф.}$  у бревен, имеющих форму усеченного параболоида, меньше, чем у бревен с формой усеченного конуса при соответствующих коэффициентах сбега. Это можно объяснить тем, что объем зоны сбега усеченного параболоида больше объема сбега усеченного конуса.

Отмеченное выше, указывает также на то, что выход обрезных длинномерных пиломатериалов (т. е. без укорочения) из бревен с меньшим коэффициентом сбега всегда будет выше, чем из бревен с большим коэффициентом сбега.

При одинаковом диаметре и коэффициенте сбега бревна объемный выход (в %) длинномерных обрезных пиломатериалов из бревен, с формой ствола, приравненной к усеченному конусу, будет больше, чем из бревен с формой ствола в виде усеченного параболоида.

Характер превышения  $P_{\%}$ , в %, величины  $E_{ниф.}$  в бревнах, имеющих форму усеченного конуса, в сравнении с имеющими вид усеченного параболоида, при различных коэффициентах сбега представлен на графике (рисунок 4).

Приведенный график построен по отношению разности величин  $E_{ниф.}$  в бревнах различной формы к величине  $E_{ниф.к}$

$$P_{\%} = \frac{E_{ниф.к} - E_{ниф.п.}}{E_{ниф.к}} 100\%, \quad (5)$$

где  $E_{ниф.к}$  и  $E_{ниф.п.}$  - величины пифагорической зоны в бревнах, имеющих соответственно форму усеченного конуса и усеченного параболоида (т. е. зоны, в которой доски оптимальной ширины не укорачивают).

Из графика (рисунок 4) видно, что при коэффициентах сбега  $K = 1,1$ ;  $K = 1,2$ ;  $K = 1,3$ ;  $K = 1,4$ ;  $K = 1,5$ ;  $K = 1,6$ ;  $K = 1,7$  величина  $P_{\%}$  принимает соответственно значения 0,28, 1,26, 3,27, 6,91, 13,4, 25,84, 57,18%.

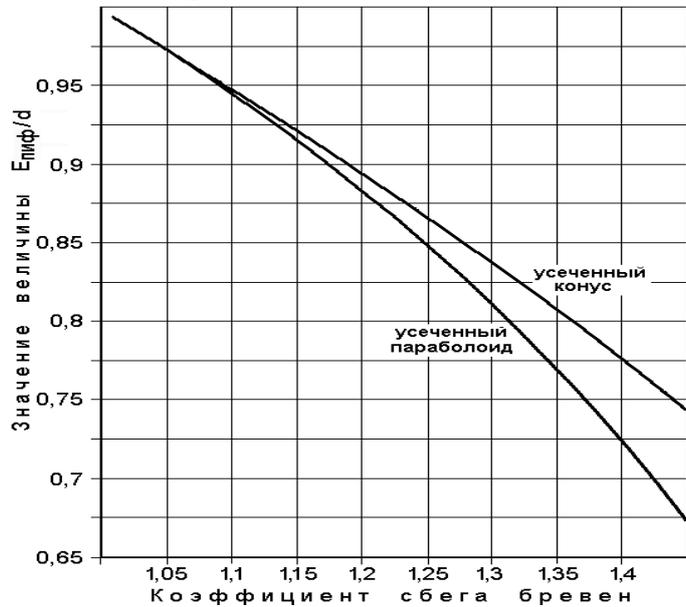


Рисунок 3 – Изменение величины  $E_{ниф.}$

Характер изменения оптимальных длин обрезных досок, выпиленных из боковой зоны бревен различной формы в зависимости от величин охвата и коэффициентов сбега, показан на графике (рисунок 5). На этом графике кривые для усеченного параболоида построены по уравнению

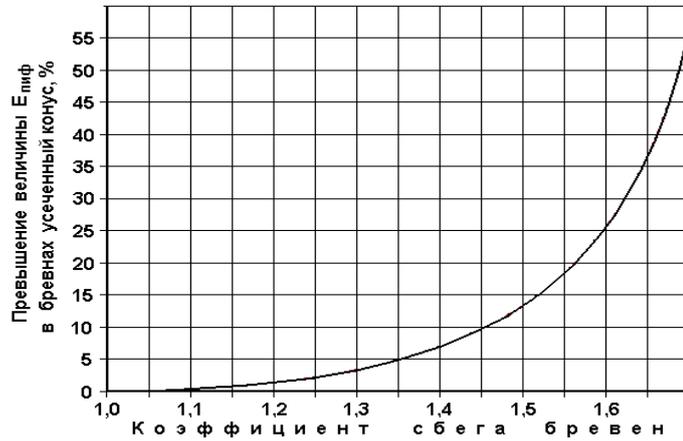


Рисунок 4 – Превышение величины  $E_{шиф}$  в бревнах, имеющих форму усеченного конуса

$$l_o = \frac{2}{3} L \frac{D^2 - E^2}{D^2 - d^2}, \quad (6)$$

а для усеченного конуса – по уравнению (3).

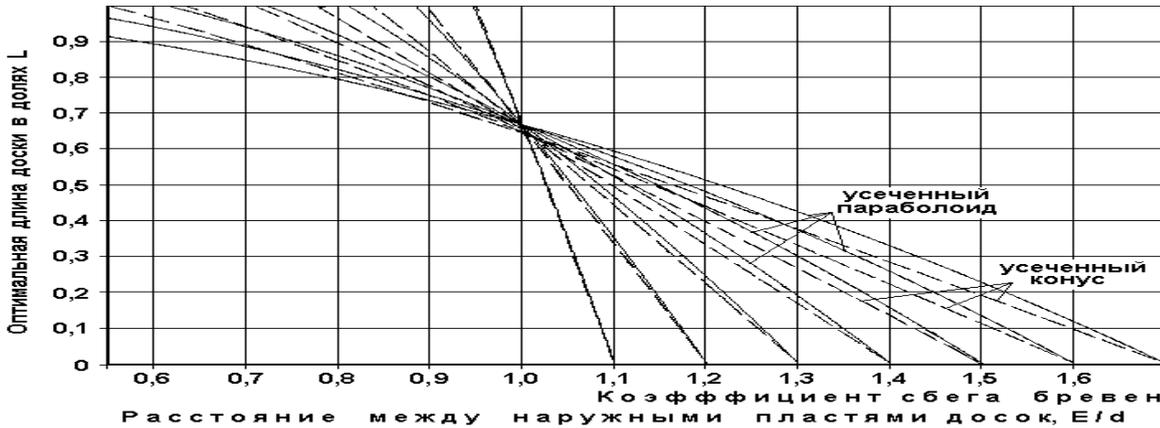


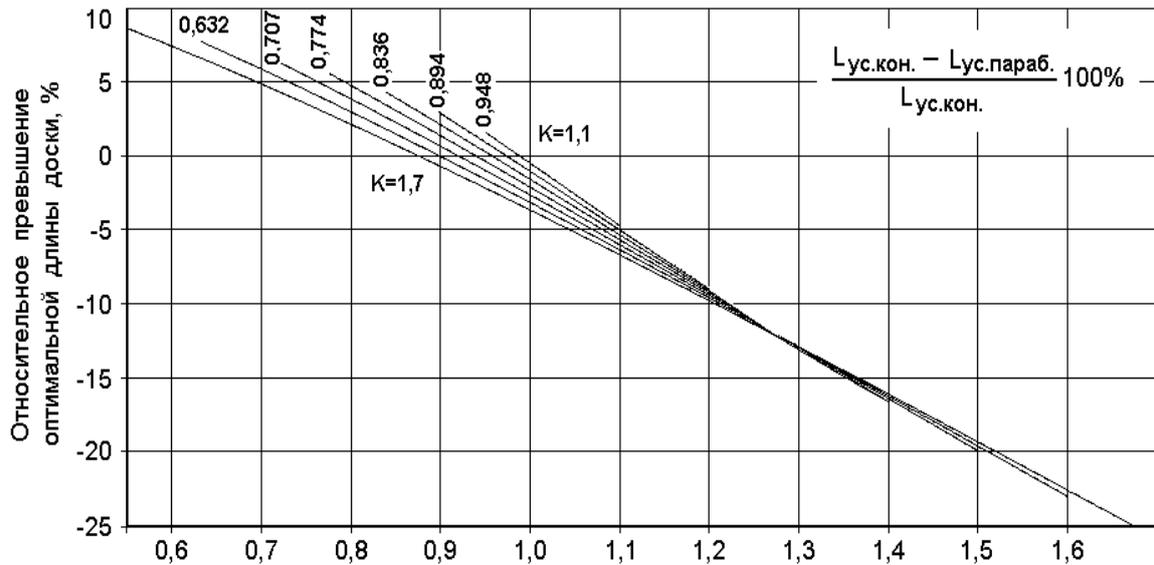
Рисунок 5 – Изменение оптимальной длины обрезных досок, выпиленных из бревен различной формы

При охвате  $E_i > d$  оптимальная длина обрезных досок, выпиленных из боковых зон бревен формы усеченный конус, меньше, чем из бревен, имеющих вид усеченного параболоида.

Величину относительной разности размеров оптимальных длин пиломатериалов, выпиленных из боковых зон бревен различной формы, можно определить по графику (рисунок 6).

При  $E_i = d$  необрезная доска ограничена полной гиперболой или параболой, при этом ее длина будет равна длине бревна.

Из графиков (рис. 6) видно, что в сравниваемых случаях длина обрезных досок, выпиленных из бревен, имеющих форму усеченного параболоида, при  $K = 1,1$ ;  $K = 1,2$ ;  $K = 1,3$ ;  $K = 1,4$ ;  $K = 1,5$ ;  $K = 1,6$  и  $K = 1,7$  будет превышать сравниваемую соответственно на 0,55, 1,1, 1,63, 2,16; 2,68, 3,2 и 3,7%.



Расстояние между наружными пластинами выпиливаемых досок,  $E/d$

Рисунок 6 – Относительная разность величин оптимальных длин обрезных досок, выпиливаемых из боковой зоны бревен различной формы

При  $E_i \leq E_{ниф.}$  объем обрезных досок, выпиленных из бревен любой формы, вычисляют по уравнению

$$V_o = aL\sqrt{d^2 - E_i^2} . \quad (7)$$

При  $E_i > E_{ниф.к}$  объем обрезных досок оптимальных размеров, выпиленных из бревна, форма которого приравнена к усеченному конусу, вычисляют по уравнению

$$V_{o.к} = \frac{\sqrt{2}aL}{16(D-d)} \left( 3D - \sqrt{D^2 + 8E_i^2} \right) \sqrt{D^2 + D\sqrt{D^2 + 8E_i^2} - 4E_i^2} , \quad (8)$$

При  $E_i > E_{ниф.н}$  объем обрезных досок оптимальных размеров, выпиленных из бревна, форма которого приравнена к усеченному параболоиду, вычисляют по уравнению

$$V_{o.н} = \frac{0,385}{D^2 - d^2} aL\sqrt{(D^2 - E^2)^3} . \quad (9)$$

На графике (рисунок 7) дан характер изменения объемов обрезных досок оптимальных размеров, выпиливаемых из боковой зоны бревен различной формы. Анализируя вышеприведенные графики (рисунок 7), отметим, что при  $E_i > E_{ниф.}$  объем досок оптимальных размеров, выпиливаемых из боковой зоны бревен, имеющих форму усеченного параболоида, больше, чем из бревен с формой усеченного конуса. Величина такого превышения показана на графиках (рисунок 8). При  $E_i > E_{ниф.к}$  с увеличением охвата относительная разность величин объемов досок оптимальных размеров увеличивается.

При одинаковой величине охвата наружных пластей выпиливаемых досок с увеличением коэффициента сбега бревен разность объемов выпиливаемых досок увеличивается. Так, например, для  $E_i = d$  при коэффициентах сбега бревен  $K = 1,1$ ;  $K = 1,2$ ;  $K = 1,3$ ;  $K = 1,4$  и  $K = 1,5$  такая разность составляет соответственно 1,62, 3,09, 4,44, 5,68 и 6,84%. При  $E_i = 1,05d$  такая разность будет составлять соответственно 3,11, 4,44, 5,66, 6,80 и 7,86%.

При  $E_i = E_{ниф}$ . относительная разность величин объемов обрезных досок оптимальных размеров для всех коэффициентов сбега бревен не превышает 1%.

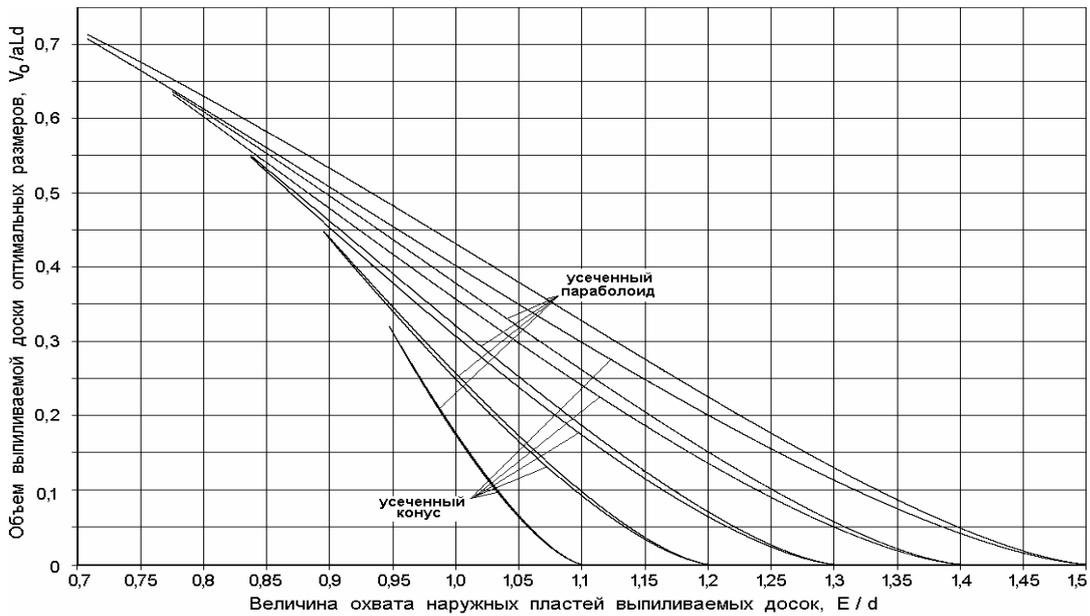


Рисунок 7 – Характер изменения объемов обрезных досок оптимальных размеров, выпиляемых из бревен различной формы

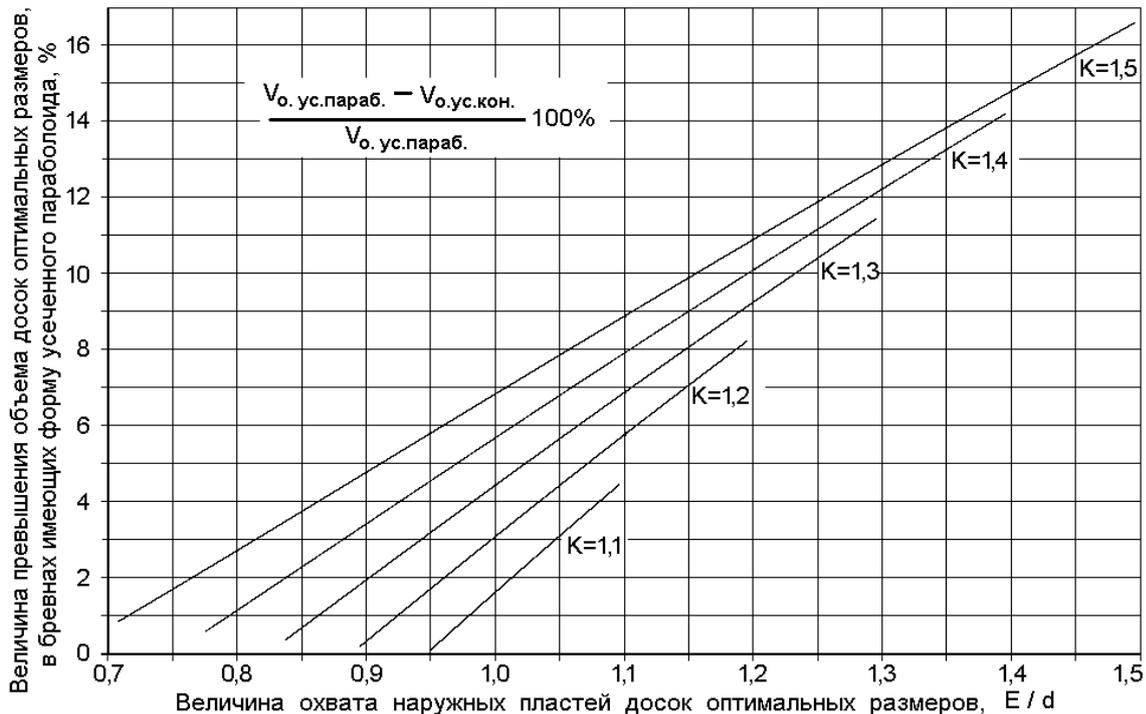


Рисунок 8 – Относительная разность величин объемов досок оптимальных размеров, выпиляемых из боковой зоны бревен различной формы

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уласовец В.Г. Рациональный раскрой пиловочника: моногр. /В.Г. Уласовец. - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2003. – 278 с.

## ОСОБЕННОСТИ ПРОПИТКИ ДРЕВЕСИНЫ АНТИСЕПТИКОМ УЛТАН

Беленков Д.А., Левинский Ю.Б., Стенина Е.И.

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

### *FEATURES OF IMPREGNATION OF WOOD ANTISEPTIC TANK ULTAN*

Защита древесины от поражения ее дереворазрушающими грибами является одной из важнейших задач, квалифицированное решение которой обеспечит повышение качества и надежности любых деревянных изделий, материалов и конструкций. Для того, чтобы изыскать наиболее эффективные средства и способы защитной обработки, следует учитывать многообразные проявления воздействий дереворазрушающих и деревоокрашивающих грибов на структуру древесины, зависимость активности этих воздействий от факторов среды, состояния материала и т.п.

Поскольку грибы являются живыми микроорганизмами, и для их развития, размножения и длительного существования необходимы благоприятные температурно-влажностные условия, то для обеспечения сохранности древесины используют атмосферную или камерную сушку. Однако, дальнейшее применение деревянных изделий, например, в строительстве, часто возвращает древесину в зону риска биопоражения.

В этой связи единственно верным технологическим решением является защита древесины специальными химическими веществами, которые губительно действуют на разрушителей древесины, но при этом должны быть безопасны для людей и окружающей среды.

За последние годы на российском рынке защитных средств появилось огромное количество предложений со стороны как зарубежных, так и отечественных производителей. В настоящее время предлагаются к применению разнообразные виды водорастворимых антисептических и огнебиозащитных средств. Широко представлены пленкообразующие защитно-декоративные составы, как на органических растворителях, так и на водной основе. Разработанный в УЛТИ проф. Беленковым Д. А. совместно с учеными института химии АН, водорастворимый трудновываемый антисептик УЛТАН считается одним из лучших по защищающей способности препаратов, т.к. обеспечивает защиту от всех видов биоразрушителей, в том числе от домовых грибов, что подтверждено соответствующими полигонными испытаниями.

Директива Еврокомиссии, принятая в 2003 году, ограничивает применение древесины, обработанной антисептиками с содержанием мышьяка. Поэтому такая древесина может применяться только в качестве:

- строительной древесины, используемой в общественных зданиях и в сельском хозяйстве;
- в конструкциях мостов, фарватеров, водоспусков, причалов и др., а также для речных и морских объектов;
- шумовых барьеров вдоль автодорог и других источников шума;
- противолавинных заграждений, заборов и барьеров вдоль дорог; ограждений вокруг животноводческих ферм (кроме ферм для грызунов, оленей и др. животных, которые могут грызть древесину);

– систем землеудержания; энергетических и телеграфных столбов, шпал.

Таким образом, область применения препаратов группы ССА, по-прежнему, обширная.

Согласно действующему законодательству, защитные средства для древесины (за исключением огнезащитных) не входят в перечень товаров, подлежащих обязательной сертификации. На такие товары могут быть выданы сертификаты соответствия по добровольной системе. Однако, на древесину, пропитанную антисептиком УЛТАН, имеется соответствующий документ, подтверждающий, что она экологически «чистая», что является крайне привлекательным для потенциальных потребителей.

Рабочий раствор УЛТАНа имеет кислую реакцию рН 1,5 – 2,0 и относится ко 2 классу опасности, т.к. в состав антисептика (ТУ 2157 – 368 – 107 – 98) входят соединения шестивалентного хрома в виде бихроматов натрия (калия) –  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) и пятивалентного мышьяка в виде мышьяковой кислоты –  $\text{H}_3\text{AsO}_4$ . При этом все его составляющие компоненты находятся в растворенном состоянии. При введении в древесину данного антисептика происходит активная реакция с веществами древесины, в результате которой через 8 часов при температуре 15 - 20°C образуются нерастворимые в воде соединения арсенатов меди и трехвалентного хрома, а рН раствора смещается в нейтральную сторону. Из-за проходящих химических реакций древесина не должна находиться в пропиточном растворе более 1 часа, поэтому из всех способов пропитки предпочтительным является автоклавный.

В 1991 г. Беленковым Д.А., Новоселовым В.Г., Серовым Ю.А., Озерским А.Е. и Аксельродом С. А. была создана и запатентована автоклавная установка и способ для пропитки пористых материалов (патент РФ 2011511), основными элементами которой являются автоклав, ресивер, гидронасос, емкость для пропиточного раствора (рисунок 1).

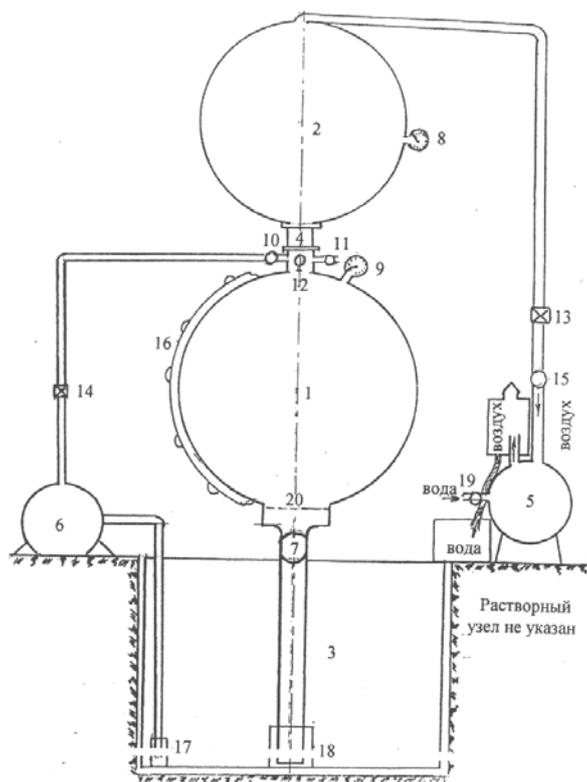


Рисунок 1– Схема пропиточной установки УГЛТУ:

- 1- пропиточная камера (автоклав);
- 2 - вакуумный ресивер; 3 - емкость для пропиточного раствора; 4 - вакуумный затвор; 5 - водокольцевой насос; 6 - гидронасос; 7 - кран запуска и выпуска раствора; 8 - вакууметр; 9 - мановакууметр; 10 - кран, соединяющий гидронасос с автоклавом; 11 - кран, соединяющий автоклав с атмосферой; 12 - вентиль вакуумного затвора; 13 - обратный клапан вакуумного насоса; 14 - обратный клапан гидронасоса; 15 - кран водокольцевого насоса

В отличие от других устройств эта установка позволяет очень быстро (в течение нескольких секунд) создать по всему объему заполненного заготовками автоклава разрежение в 0,08 МПа. Кроме того, она имеет низкое энергопотребление (1 кВт/ч на 1м<sup>3</sup>).

На первых секундах вакуумирования на установке УГЛТА (рисунок 2) происходит пневмовзрыв, что, предположительно, должно привести к повышению проницаемости древесины и, как следствие, ее пропитываемости. Чем быстрее создан глубокий вакуум, тем выше в последствии проницаемость древесины.

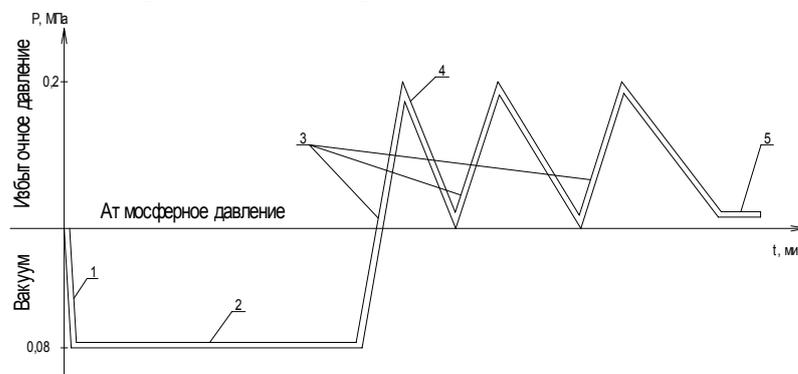


Рисунок 2. График режима пропитки по способу «Вакуум-давление»:

1 – создание вакуума; 2 – выдержка древесины в вакууме; 3 – создание гидродавления; 4– сброс гидродавления до атмосферного; 5 – выгрузка образцов, удаление раствора

Целью первой части исследовательской работы явилось изучение влияния длительности стадии вакуумирования на степень поглощения раствора антисептика образцами из легкопропитываемой (березовой), умереннопропитываемой (кленовой) и труднопропитываемой (еловой) древесины, а также определение влияния длительности создания вакуума на поглощение раствора антисептика заготовками по способу «Вакуум – атмосферное давление».

Результаты исследований показали, что в режиме пропитки легкопропитываемых пород можно существенно сократить время выдержки заготовок под «мокрым» вакуумом, т.к. максимальное поглощение антисептика древесиной достигалось уже на 10-ой минуте выдержки под вакуумом как при быстром (за 10 сек.), так и при постепенном создании вакуума (за 10 мин).

При пропитке умереннопропитываемых пород результаты существенно отличались в зависимости от длительности создания вакуума в автоклаве. Так максимальное поглощение достигается на 20-ой минуте выдержки под вакуумом при «мгновенном» создании вакуума и на 40-ой минуте при постепенном обеспечении разрежения, но в этом случае не происходит их глубокая пропитка.

По результатам исследований особенностей пропитки труднопропитываемой древесины можно сделать следующие выводы:

1. Наибольшее поглощение образцов ели обеспечивается на 20-ой минуте при выдержке под вакуумом, созданным за 10 с (12,87 кг/м<sup>3</sup> при пропитке только с боковой поверхности).
2. При постепенном создании вакуума наибольшее поглощение обеспечивается при выдержке под вакуумом также в течение 20 минут, но величина поглощения значительно меньше, чем при мгновенном вакууме (3,0692 кг/м<sup>3</sup>).

Таким образом, время создания вакуума существенно влияет на пропитку древесины, особенно, умеренно- и труднопропитываемых пород. При одинаковых значениях продолжительности выдержки под вакуумом значения поглощения могут отличаться в 4 раза.

Принято считать, что способом «Вакуум-давление» следует пропитывать сухую древесину, и чем меньше предпропиточная влажность древесины, тем эффективность пропитки будет выше. Но практика показала, что этот способ применим для консервирования антисептиком УЛТАН как сухой (влажностью до 30%) древесины, так и свежесрубленной. Учитывая, что в последней остается до 40% пор, занятых воздухом, а также тот момент, что антисептик фиксируется в древесине в течение 7 дней, можно предположить, что на протяжении этого срока он будет диффундировать в более глубокие слои древесины, обеспечивая тем самым консервирование древесины с достаточно высоким поглощением.

Всю проделанную исследовательскую работу по проверке данного предположения проводили в 2 цикла. Первый цикл – когда пропитывались антисептиком УЛТАН образцы из заболони сосны, второй цикл - пропитывались образцы из ядра сосны. Исследования проводились при создании вакуума в течение 10 сек. При этом значение разряжения составляло для легкопропитываемой заболони сосны 0,06 МПа, а для умереннопропитываемого ядра сосны 0,08 МПа. Результаты экспериментов приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Показатели качества пропитки заболони сосны различной влажности

Параметры эксперимента	Продолжительность выдержки под вакуумом, мин				Глубина пропитки, мм
	10	20	30	40	
1	2	3	4	5	6
Поглощение при влажности образцов 8-12%, кг/м <sup>3</sup>	1,334	3,242	2,59	3,37	более 1
Поглощение при влажности образцов 50-55%, кг/м <sup>3</sup>	2,912	4,154	2,98	2,496	более 1
Поглощение при влажности образцов 60-67%, кг/м <sup>3</sup>	2,64	3,148	2,534	3,136	более 1

Таблица 2 – Показатели качества пропитки ядра сосны различной влажности

Параметры эксперимента	Продолжительность выдержки под вакуумом, мин				Глубина пропитки, мм
	10	20	30	40	
1	2	3	4	5	6
Поглощение при влажности образцов 8-12%, кг/м <sup>3</sup>	1,334	3,242	2,59	3,37	более 1
Поглощение при влажности образцов 50-55%, кг/м <sup>3</sup>	2,912	4,154	2,98	2,496	более 1
Поглощение при влажности образцов 60-67%, кг/м <sup>3</sup>	2,64	3,148	2,534	3,136	более 1

На основании проделанной работы можно сделать вывод, что при автоклавной пропитке антисептиком УЛТАН, предпропиточная влажность древесины существенного влияния на качество пропитки не оказывает.

Проведенные исследования позволяют скорректировать режимы пропитки легко-, умеренно- и труднопропитываемой древесины антисептиком УЛТАН на автоклавной установке УГЛТУ, обоснованно сократив его, снизив энергопотребление, повысив производительность процесса и, как следствие, снизив себестоимость пропитанной древесины.

## **ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ, ПРОПИТАННОЙ АНТИСЕПТИКОМ УЛТАН**

**Беленков Д.А., Левинский Ю.Б., Стенина Е.И.**  
(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

### ***STUDYING OF PROPERTIES OF THE WOOD IMPREGNATED BY ANTISEPTIC TANK ULTAN***

Известно, что антисептик УЛТАН (группа ССА) является водорастворимым, трудновываемым препаратом, который фиксируется в древесине за счет того, что вступает в химическую реакцию с древесным веществом и образует кристаллы арсенатов меди и трехвалентного хрома, заполняющие полости клеток, и способные растворяться в кислой среде. С учетом этого обстоятельства можно предположить, что древесина, законсервированная с помощью препарата УЛТАН, может изменить свои физико-механические свойства (тепло- и влагостойкость, прочность и др.), а также иначе, чем в обычных условиях взаимодействовать с клеями, лакокрасочными материалами и другими продуктами.

В исследовательской работе были проведены опыты по определению предела прочности на сжатие, изгиб, скалывание образцов с различным содержанием антисептика. Исследования выполнялись на испытательных машинах УМ-5, ВЕВ по методикам, предусмотренным ГОСТ 16433.10-73.

Испытанию подверглось 94 пропитанных препаратом УЛТАН сосновых образца. Часть из них была обработана в условиях создания вакуума глубиной 0,08 МПа. Это состояние среды создавалось в течение 10 сек, т.е. практически мгновенно. Для проведения эксперимента была использована специальная пропиточная установка, разработанная в УГЛТУ. Другая часть образцов пропитывалась при условии, что такой же вакуум создавался постепенно (за 10 мин). Такой процесс характерен для типовых пропиточных установок. Под вакуумом образцы также выдерживались неодинаковое время. В конечном итоге получали различное поглощение антисептика образцами. Интересно было выяснить - влияет ли скорость создания вакуума в пропиточной установке, а также величина поглощения антисептика древесиной на прочность материала.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Прочность на сжатие древесины, пропитанной при условии создания вакуума за 10 секунд, выше, чем прочность древесины, пропитанной при постепенном обеспечении разряжения, но не достигает контрольных цифр для непропитанной древесины.

2. Содержание антисептика УЛТАН в древесине снижает предел прочности на сжатие на 13% в случае «мгновенного» создания вакуума и на 25%, когда вакуум создается за 10 мин (постепенно).

Прочность на изгиб и на скалывание древесины, пропитанной при условии создания вакуума за 10 секунд, выше, чем прочность древесины, пропитанной при постепенном получении вакуума, и превышает контрольные цифры для непропитанной древесины.

Содержание антисептика УЛТАН в древесине повышает предел прочности на изгиб на 20% при «мгновенном» создании вакуума и на 1% при постепенном.

Таким образом, мгновенный вакуум в процессе пропитки древесины меньше влияет на пределы прочности на сжатие, скалывание, но в большей степени на прочность при изгибе, причем, в положительную сторону. Предел прочности повышается, вероятно, из-за того, что в результате химической реакции УЛТАНа с веществами древесины образуются кристаллы, которые как бы армируют древесинную структуру изнутри.

Для склеивания законсервированной древесины, которая эксплуатируется в жестких условиях предпочтительнее применять водостойкие клеи. Однако, определенный практический интерес представляет исследование взаимодействия с клеями на основе ацетатных (ПВА) и карбамидных (КФ) смол. Кристаллы арсенатов меди и трехвалентного хрома, образовавшиеся в результате реакции УЛТАНа с веществами древесины, попадая в кислую среду, способны растворяться. Известно, что клей ПВА имеет исходную кислую среду (рН 4,5-6,0), а у смолы КФ-Ж(М) исходная среда - щелочная (рН 7-8,5). Следовательно, клей в состоянии химической среды, близкой к нейтральной, не может растворить кристаллики. Это способствует сокращению свободной емкости в полостях клеток для распространения его вглубь, что, вероятно, и снижает прочность сцепления клея с древесиной. Однако, необходимо учитывать тот факт, что в процессе отверждения карбамидных смол под действием катализатора значение рН постепенно уменьшается до 4-4,5, что может дать эффект, аналогичный явлениям взаимодействия в кислой среде.

В исследовательской работе были проведены опыты по определению предела прочности на скалывание образцов, склеенных различными клеями. Заготовки были обработаны антисептиком УЛТАН. В результате наиболее высокие показатели предела прочности клевого слоя получены при использовании клея CASCO (группа ПВА). Предел прочности образцов, пропитанных антисептиком и склеенных этим клеем, оказался выше на 20 – 25% предела прочности непропитанных образцов (рисунок 1). При этом предел прочности пропитанных образцов возрастает с увеличением поглощения антисептика и снижается с увеличением времени выдержки под вакуумом. Следовательно, оптимальный вариант для достижения более высокой прочности образцов, склеенных клеем CASCO, это - поглощение древесиной антисептика в количестве 11 кг/м<sup>3</sup>. При значительно меньшем содержании древесиной препарата УЛТАН (8 кг/м<sup>3</sup>) обеспечивается ее защита от биопоражения на срок до 25 лет, а при поглощении 12 кг/м<sup>3</sup> - до 50 лет.

Что касается прочности склеивания при использовании клеев JOWACOLE (также группа ПВА, но отличается от CASCO отвердителем и добавками) и КФ-Ж(М), то на них повлияла пропитка не в положительную, а скорее в отрицательную сторону, хотя строгая закономерность взаимосвязанных явлений пока еще не установлена. Предел прочности непропитанных образцов у клея JOWACOLE выше предела прочности пропитанных и меняется в пределах от 0,4 до 13,5% в зависимости от степени поглощения.

При использовании клея на основе смолы КФ-Ж(М) прочность склеивания пропитанных образцов на 27,6 - 34,8% ниже, чем у непропитанных.

Особый интерес представляет адгезия лакокрасочных материалов на пропитанной древесине. Сами лакокрасочные покрытия не могут обеспечить долговечность древесины

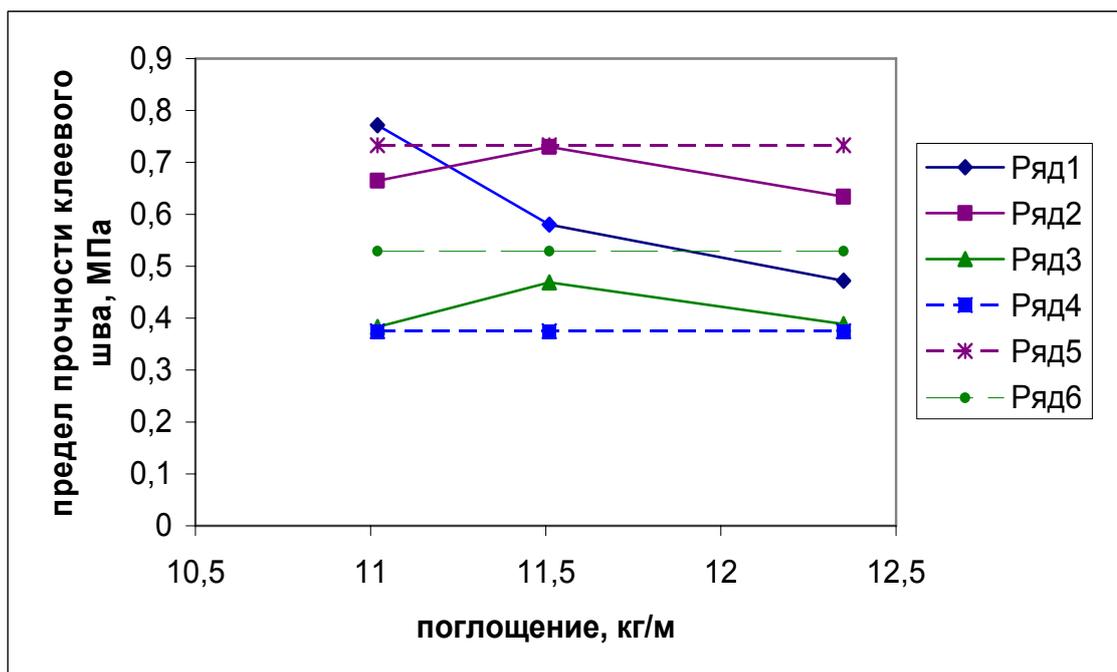


Рисунок 1– График зависимости предела прочности клеевого слоя в от поглощения древесиной антисептика УЛТАН

Ряд 1 – график для клея CASCO

Ряд 2 – график для клея JOWACOLE

Ряд 3 - график для клея КФ-Ж(М)

Ряд 4 – контрольные непропитанные заготовки, склеенные CASCO

Ряд 5 - контрольные непропитанные заготовки, склеенные JOWACOLE

Ряд 6 - контрольные непропитанные заготовки, склеенные КФ-Ж(М)

настолько, как обеспечивает ее консервирование. Порой необходимо использовать покрытия на пропитанной древесине (лоджии, скамейки, беседки и т.д.) эксплуатируемые в жестких условиях, но к которым предъявляются эстетические требования.

Поэтому целью исследований являлось также изучение адгезии лакокрасочных покрытий на пропитанной древесине сосны. Для исследований использовались атмосферостойкие ЛКМ (ПФ-115, НЦ-132, ГФ-230, АУ-271).

Можно предположить, что кристаллы арсенатов меди и хрома, которые заполняют полости клеток пропитанной УЛТАНОм древесины, ухудшат адгезию лакокрасочных покрытий с подложкой и могут повлиять на их свойства, такие как теплостойкость и водостойкость, т.к. способны диффундировать в ЛКП.

Сущность метода определения адгезии заключается в нанесении на готовое лакокрасочное покрытие параллельных надрезов и визуальной оценке состояния покрытия по 3-бальной шкале.

Теплостойкость лакокрасочных покрытий позволяет им не разрушаться и не менять внешнего вида под действием повышенных температур. Для выявления этой способности на испытуемый образец накладывают тонкий ватный тампон и на 15 мин ставят на него стакан с водой, температура которой составляет 60°С. Если после снятия стакана на по-

крытии не остается прилипших ватных волокон, теплостойкость считается удовлетворительной.

Водостойкость же лакокрасочных покрытий позволяет не разрушаться и не менять внешнего вида под действием воды. С целью определения этого свойства в стакан с водой, на 24 часа помещают окрашенные образцы на 2/3 высоты. Далее определяют изменение декоративных и защитных свойств покрытия. Если после извлечения образца изменений свойств не произошло, водостойкость считается удовлетворительной.

По работе, связанной с определением адгезии, тепло- и водостойкости ЛКП на пропитанной УЛТАНОм подложке, можно сделать следующие выводы:

1. Содержание антисептика УЛТАН в древесине не влияет на адгезию, теплостойкость и водостойкость ЛКП на основе ПФ-115, НЦ-132, ГФ-230 и АУ-271.

2. Характеристики на адгезии, теплостойкости и водостойкости ЛКП на пропитанной подложке с увеличением поглощения от 2,9 до 19 кг/м<sup>3</sup> практически остаются неизменными.

На основании исследований, проведенных Сенежской лабораторией консервирования древесины было отмечено, что медь-, хромсодержащие препараты снижают горючесть древесины. Поэтому были осуществлены исследования по изучению огнезащитных свойств древесины, пропитанной УЛТАНОм.

Исследования проводились методом «огневой трубы» на образцах с различным поглощением антисептика. По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Антисептик УЛТАН действительно снижает горючесть древесины. Причем, зависимость потери массы древесины при горении с увеличением содержания его антисептика отрицательная и нелинейная.

2. При приближении к рекомендуемому поглощению (8 кг/м<sup>3</sup>) потеря массы древесиной при испытаниях составляет 15%, что соответствует 2-ой группе горючести, т.е. древесина становится трудновоспламеняемой.

Можно предположить, что с дальнейшим повышением поглощения пропитанная УЛТАНОм древесина, возможно, перейдет в 1-ую группу горючести (трудногорючая древесина), т.е. потеря массы составит менее 9%.

Эффект огнезащитности, полученный нами в лабораторных условиях, показал, что пропитанная УЛТАНОм древесина переходит во 2-ую группу (трудновоспламеняемой) древесины при содержании в ней более 7 кг/м<sup>3</sup>. Такой же результат достигается по данным С.И. Таубкина при поглощении древесиной 66 кг/м<sup>3</sup> фосфорнокислого аммония, 95 кг/м<sup>3</sup> сернокислого аммония, 80 кг/м<sup>3</sup> безводной буры и 102,5 кг/м<sup>3</sup> смеси борной кислоты и безводной буры.

В заключение можно отметить, что содержание антисептика УЛТАН в древесине существенно не влияет на прочность, не ухудшает основные технологические свойства ее и, главное, к своей превосходной защищающей от биопоражения способности прибавляет отличные огнезащитные свойства, что позволяет перевести его в разряд препаратов комплексного действия. Последнее является крайне привлекательным для представителей строительной индустрии.

## РАЦИОНАЛЬНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПИЛОВОЧНОГО СЫРЬЯ НА ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЛЕЕНЫХ МАТЕРИАЛОВ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Левинский Ю.Б., Левинская Г.Н., Агафонова Р.И., Савина В.В.,  
Волегова Н.В. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [levinskyi@bk.ru](mailto:levinskyi@bk.ru)

### **RATIONAL PROCESSING OF RAW MATERIAL FOR SAWN TIMBER ON PREPARATIONS FOR MANUFACTURE GLUED CONSTRUCTIVE MATERIALS**

В производстве строительных конструкций и материалов все более широко применяется склеивание. Оно позволяет достичь не только высокого качества изделий, но также способствует повышению эффективности использования древесного сырья. Основными изделиями являются клееные балки и щиты, конструкционные сборные элементы для каркасов панелей и профилированные стеновые брусья. Считается, что индивидуальные способы раскроя бревен в этом случае обеспечивают максимально эффективное потребление древесины в строительстве. Тем не менее, можно рекомендовать и комбинированный технологический процесс, который объединяет индивидуальный первичный раскрой бревен и распиловку получаемых пиломатериалов групповыми методами.

Выбор схемы раскроя зависит от размерно-качественных характеристик сырья и заготовок, типа оборудования и необходимой ориентации распиловки сортиментов относительно годовичных слоев древесины. Известно, что пиломатериалы радиальной и полурадиальной распиловки, а также специальные заготовки и детали секторного типа дают превосходный результат по формоустойчивости клееных изделий, например, щитов большого формата, и сбалансированности внутренних напряжений, возникающих в клееных конструкциях. Это – основная гарантия долговременности службы строительных изделий. Секторный способ достаточно эффективен при индивидуальной распиловке бревен малого диаметра для получения радиальных заготовок. Однако, технические сложности в обеспечении такого способа раскроя сдерживают, а иногда даже исключают возможность его применения на предприятиях. И хотя объемный выход составляет 40-65%, а продукция обладает очень высоким качеством, найти примеры массового производства почти невозможно, так как затраты изготовителя оказываются столь велики, что его деятельность становится убыточной.

Ассортимент сборно-клееных конструкционных материалов может быть расширен, благодаря использованию в их производстве специальных секторных и трапециевидных заготовок (рисунок 1).

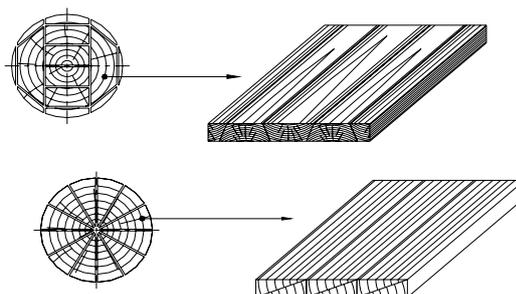


Рисунок 1 – Клееные щиты на основе секторных и трапециевидных заготовок

Если обеспечить заинтересованность в строительных фирм и предприятий в такой продукции, то эффективность столь специфической переработки круглых лесоматериалов будет несомненно высокой. При распиловке бревен с получением двух трапециевидных досок (заготовок для склеивания по кромкам) объемный выход увеличивается на 5-10%. Доски, сечение которых трапеция или прямоугольник, после сушки и обработки на фрезерно-строгальных станках являются хорошими деталями для получения клееных щитов повышенной прочности и толщины (рисунок 2)

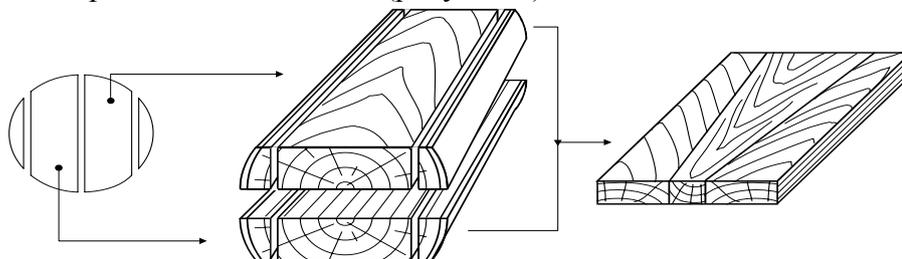


Рисунок 2 – Переработка тонкого пиловочника на заготовки клееных щитов

Применив комбинированный способ распиловки бревен, можно в дальнейшем обеспечить производство специфицированных клееных щитов или клееных щитовых заготовок для многослойных балок и брусьев, обладающих соответствующими конструктивными свойствами и столярно-строительными возможностями (рисунок 3).

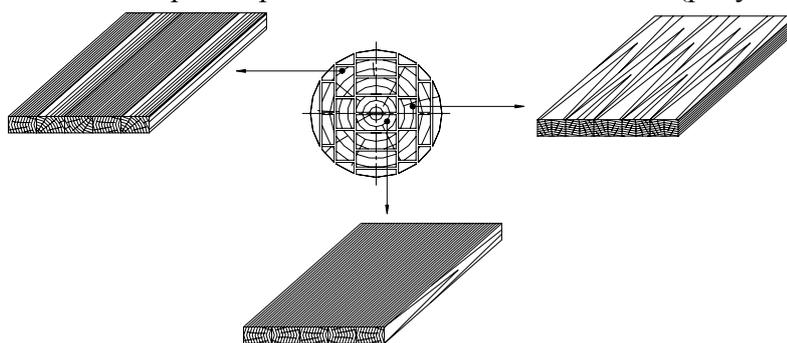


Рисунок 3 – Условное распределение заготовок при комбинированном раскросе сырья:  
а) полурадialные; б) радиальные; в) тангентальные

Определенное место в деревянном домостроении может занять комбинированный сборно-клееный брус из секторных или сегментных заготовок (КСБ), разработанный в УГЛТУ и представленный на региональных выставках – ярмарках (рисунок 4). Он вполне подходит для использования в качестве самостоятельных стеновых элементов строений или в составе панельных конструкций.

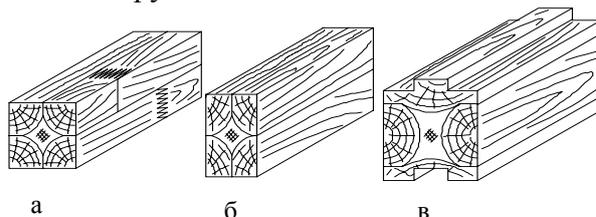


Рисунок 4 – Схемы основных конструкций КСБ:  
а- брус квадратного сечения; б- брус прямоугольного сечения;  
в- сборно-клеённый брус из фрезерованных деталей и двухкантного полубруса

Наиболее распространенными способами групповой распиловки, являются развальный и брусово-развальный, при которых получают заготовки с различной направленностью годовичных слоев. Расчет поставов по разработанным схемам распиловки сырья показывает, что выход первичных заготовок (пиломатериалов), имеющих специфицированные размеры сечений и пригодных для столярно-строительных щитов составляет 60 – 62% от объема перерабатываемых бревен толщиной 22–26см (таблица 1). Аналогичные расчеты проведены для вариантов комбинированного раскроя пиловочника широкого диапазона толщин при установленных заданиях на получение специальных заготовок и стандартных пиломатериалов, предназначенных для обеспечения строительства (рисунок 6).

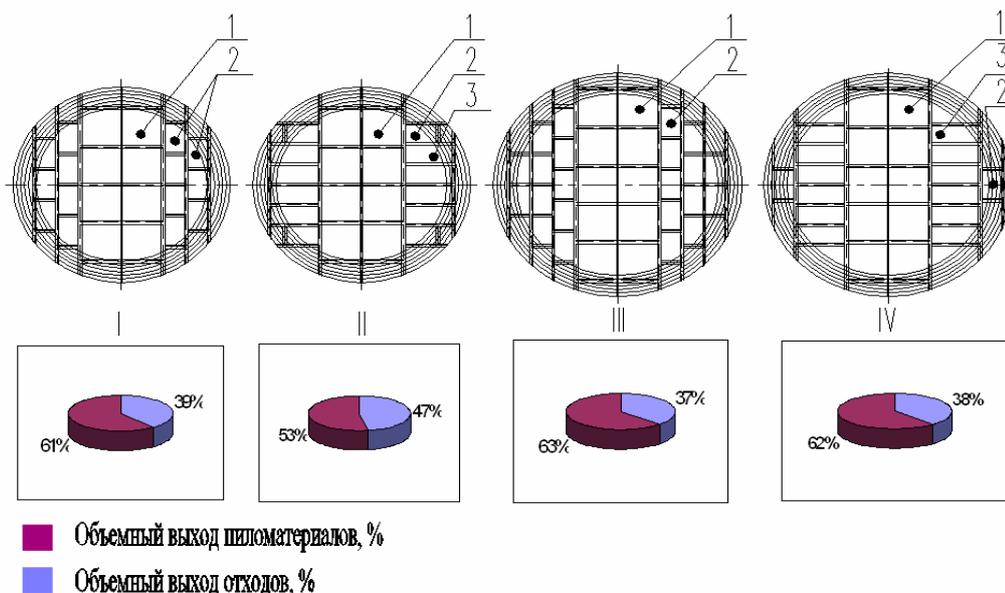


Рисунок 6 – Схемы распиловки круглых лесоматериалов и показатели объемного выхода пилопродукции при выработке заготовок для клееных щитов строительного назначения :

1 – ламель сечением 50 x 50 мм; 2 - ламель, сечением 25 x 40 мм;  
3 – ламель сечением 25 x 50 мм.

Таблица 1 – Показатели объемного выхода пиломатериалов при выработке заготовок для строительных клееных материалов

Диаметр, см	Постав	Объемный выход:				Объемный выход по направленности раскроя		
		общий	50×50	25×50	25×40	Радиальный	Полурадиальный	Тангентальный
22	I	$\frac{0,12925}{46,16}$	$\frac{0,095}{33,93}$	$\frac{0,02625}{9,38}$	$\frac{0,008}{2,86}$	$\frac{0,219}{55,3}$	$\frac{0,219}{55,3}$	$\frac{0,219}{55,3}$
	II	$\frac{0,1525}{54,47}$	$\frac{0,095}{33,93}$	–	$\frac{0,0575}{20,54}$	$\frac{0,219}{55,3}$	$\frac{0,219}{55,3}$	$\frac{0,219}{55,3}$
26	III	$\frac{0,19025}{48,05}$	$\frac{0,115}{29,03}$	$\frac{0,07125}{17,99}$	$\frac{0,004}{1,01}$	$\frac{0,219}{55,3}$	$\frac{0,219}{55,3}$	$\frac{0,219}{55,3}$
	IV	$\frac{0,219}{55,3}$	$\frac{0,115}{29,03}$	–	$\frac{0,104}{26,27}$	$\frac{0,219}{55,3}$	$\frac{0,219}{55,3}$	$\frac{0,219}{55,3}$

Расширяя ассортимент сборно-клееных конструкционных заготовок и материалов для строительства, можно предложить и более разнообразные схемы распиловки древесины. При этом всегда должны учитываться главные факторы, определяющие качество и надежность самих строительных конструкций, а именно:

- направленность распиловки по характеру расположения волокон древесины на торцовом срезе пиломатериалов;
- схема размещения заготовок (ламелей) в пакете, предназначенном для склеивания ;
- требования к качеству древесины по ее структурному состоянию, наличию пороков и дефектов, точности размеров и подготовленности к склеиванию.

На рисунок 7 приведены возможные схемы комплексной распиловки бревен с получением максимального количества и объема заготовок различного профиля и назначения.

В зависимости от задания на производство столярно-строительных заготовок и конструкций выбирается одна из наиболее рациональных схем распиловки. Например, по первой схеме можно получить заготовки радиальной направленности, которые обеспечат высокую формоустойчивость клееных щитов. Сердцевинная зона, в которой, как правило, присутствует сердцевинная трубка или имеются проявления сердцевинной гнили, будет использована в виде цельного бруска. Периферийная часть бревна перерабатывается на заготовки секторной формы сечения, которые пригодны для получения комбинированного клееного бруса (рисунок 4). Применяя другие схемы (см. рисунок 7), можно обеспечить выработку широких досок радиальной распиловки, более узких – радиальной и полурадимальной, тонких боковых досок для производства обшивки, декоративной рейки, плинтусов и т.д. Таким образом, создаются предпосылки и для обоснования схем распиловки сырья и определения планируемого спецификационного задания на получение пилопродукции.

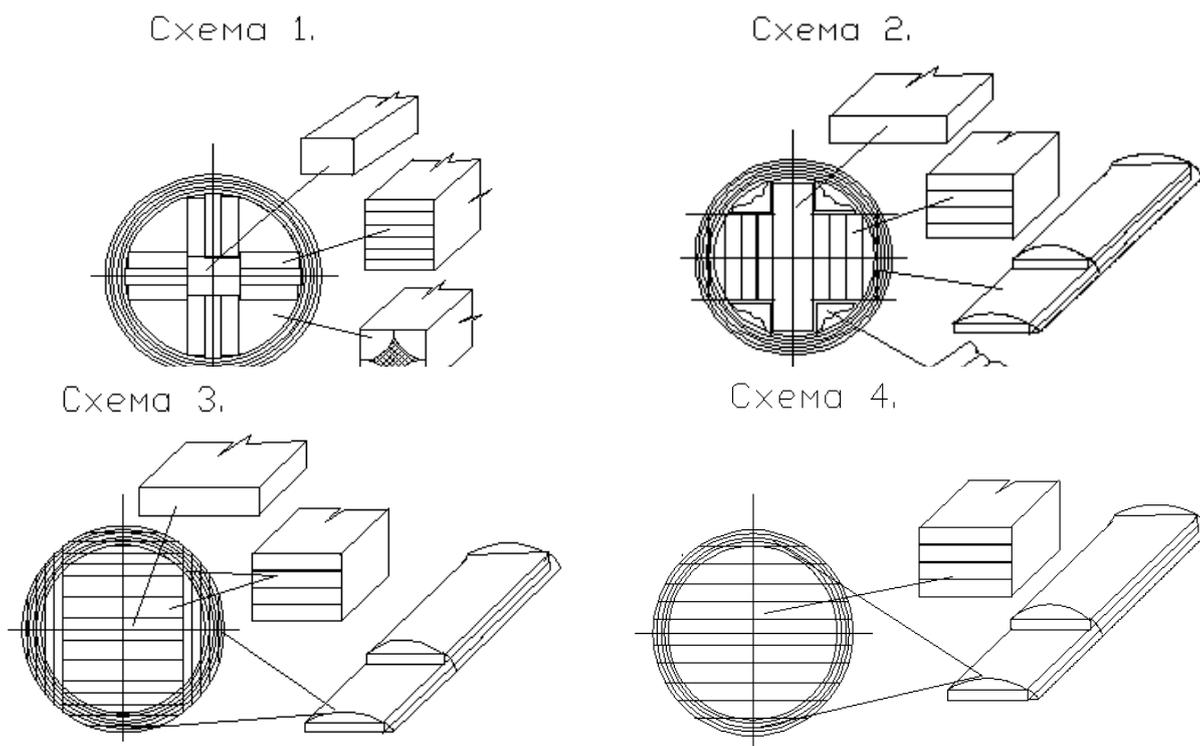


Рисунок 7 – Схемы комплексной распиловки бревен

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КОМБИНИРОВАННЫХ КЛЕЕННЫХ БАЛОК

Левинский Ю.Б., Агафонова Р.И.

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [levinskyi@bk.ru](mailto:levinskyi@bk.ru)

### THEORETICAL SUBSTANTIATION OF COMBINED GLUED BEAMS STRUCTURE

Большинство клееных конструкций являются весьма дорогостоящими строительными изделиями. Этот недостаток можно уменьшить за счет сокращения расхода древесного сырья и оптимизации самих конструктивных элементов. Например, если достичь значительной экономии потребления высококачественных заготовок в производстве клееных балок при обоснованном и точно рассчитанном комплектовании блоков из древесины разных пород, то в соответствии с распределением нормальных напряжений по высоте сечения и механическими характеристиками материалов можно уменьшить расход высокопрочной древесины. Сами клееные конструкции оказываются вполне надежными при таких размерах сечений, которые значительно меньше применяемых на практике. На рисунок 1 показана схема напряженного состояния клееной балки, работающей на изгиб. В крайних слоях располагаются ламели или сухие строганные пластины из более прочной древесины, например, сосны, а центральная зона конструкции составлена из осиновых заготовок.

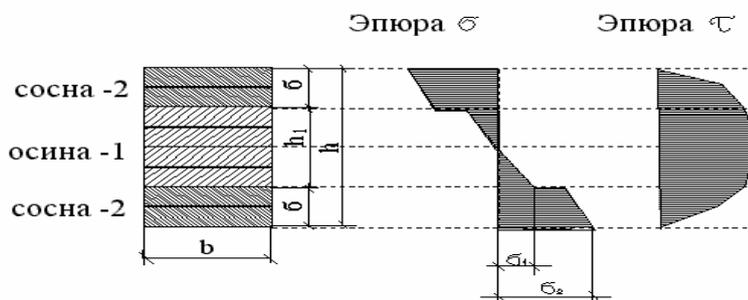


Рисунок 1 – Схема комплектования клееной заготовки с эпюрами возникающих напряжений

Расчетные напряжения в конструкции определяются по формулам:

нормальные

$$\sigma_{x2} = \frac{n_1 \cdot M \cdot h}{2 \cdot h \cdot \left( \frac{b}{12h} (h_1^3 + n_1 (h^3 - h_1^3)) \right)};$$

касательные

$$\tau = \frac{Q \cdot S_y^n}{I_y^n \cdot b},$$

где  $h, h_1$  - высоты балки и среднего слоя, соответственно;

$b$  - ширина балки;

$W_y$  - момент сопротивления при изгибе;

$n_1 - E_2/E_1$  – коэффициент приведения второго материала к основному (первому) материалу;

$S_y^n$  - статический момент относительно оси Y;

Q – расчетная поперечная сила.

Клееные конструкции из древесины разных пород – это композитные балки, и их прочность в значительной степени зависит от прочности древесины в растянутой зоне. Влияние средних и сжатых слоев менее существенно. Поэтому предлагается использовать прочную древесину для внешних растянутых слоев, а менее качественную для остальных.

Общая несущая способность и деформативность конструкции композитного сечения зависит от соотношения по высоте сечения размеров наружных и средней зон. Причем, для каждого конкретного случая в зависимости от прочностных и упругих характеристик применяемой древесины, с целью снижения материалоемкости конструкции необходимо находить оптимальное соотношение древесины разных пород по высоте сечения. Кроме того, существуют способы увеличения прочности балки путем армирования наиболее напряженного слоя. Усиление древесины стальной или пластиковой арматурой уменьшает влияние естественных пороков, существенно увеличивает несущую способность и жесткость конструкций при снижении их веса и уменьшении стоимости. Это подтверждается исследованиями, проведенными в последнее время (3). Отмечено, что армирование позволяет упростить конструктивные решения узлов сопряжения деревянных элементов.

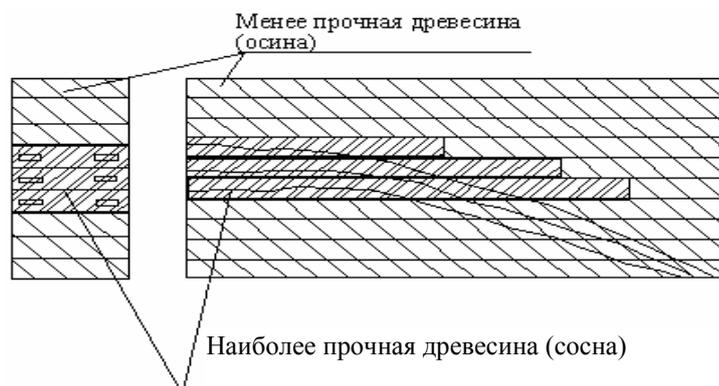


Рисунок 2 – Схема комплектования клееной конструкции и способ ее усиления армированием

Способ основан на использовании в передаточных зонах (в местах сосредоточения арматуры) древесины с высоким пределом прочности на скалывание.

Использование комбинированных панелей и балок позволяет значительно снижать потребление качественной древесины, а, следовательно, и денежных средств на строительство

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Л.М. Ковальчук. Деревянные конструкции в строительстве, М. Лесная промышленность, 1987г.;
2. Л.М. Ковальчук, И.Н. Бонтимирова. Использование древесины лиственных пород в строительных конструкциях - Механическая обработка древесины, вып. 6, Обзор. информ., М.: ВНИПИЭИлеспром, 1991.
3. А.М. Калугин. Деревянные конструкции, М., 2003г.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИИ В ИНДУСТРИАЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ КАРКАСНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ СТРОЕНИЙ**

**Левинский Ю.Б., Волегова Н.В., Омигов С.А., Медведев А.В.**

*(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) levinskyi@bk.ru*

### **DESIGNS AND TECHNOLOGY PERFECTION OF IN INDUSTRIAL MANUFACTURE OF FRAME WOODEN STRUCTURES**

Каркасное строительство в настоящее время приобретает все большее значение на рынке деревянного малоэтажного домостроения. Оно оказывается вполне доступным для предприятий любого масштаба и профиля деятельности. Постоянно возрастающие требования к жилью способствуют появлению новых строительных материалов и конструкций, разработке оригинальных и универсальных проектов усадебных домов или коттеджей, поиску и внедрению удобных способов монтажа, архитектурного оформления и технического оснащения зданий.

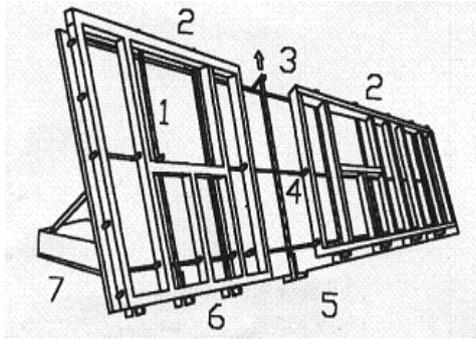
В настоящее время большие перспективы и ожидания связывают с индустриальным серийным производством каркасных и каркасно-панельных деревянных домов. Во-первых, значительно сокращаются затраты на изготовление комплектующих для этих быстровозводимых и относительно простых по конструкции строений. Во-вторых, недавно появившиеся и весьма разнообразные теплоизоляционные, декоративно-защитные, отделочные и конструкционные материалы, позволяют вывести каркасное - панельное домостроение на более высокий, и вполне соответствующий мировому, уровень качества, эксплуатационной надежности и комфортабельности жилья.

Практически все строительные материалы и конструкции, которые используются в объектах данного типа, существенно влияют на технические показатели строений, основными из которых являются следующие:

- конструкционная устойчивость и механическая прочность;
- пожарная безопасность и защищенность объекта от климатических воздействий среды;
- изоляционные свойства по теплопередаче, акустике, паропроницаемости и влагопоглощению.

Для большинства каркасов стен и стеновых панелей применяют сухие пиломатериалы или сборно-составные профилированные заготовки из досок, брусьев, фанеры, древесных плит (двухтавровые, швеллерные и прочие балки). Сами конструкции собирают на специальных стапелях или координатных платформах, обеспечивая при этом высокую точность сопряжения деталей, геометрических размеров каркасов и надежность крепежа отдельных элементов (рисунок 1).

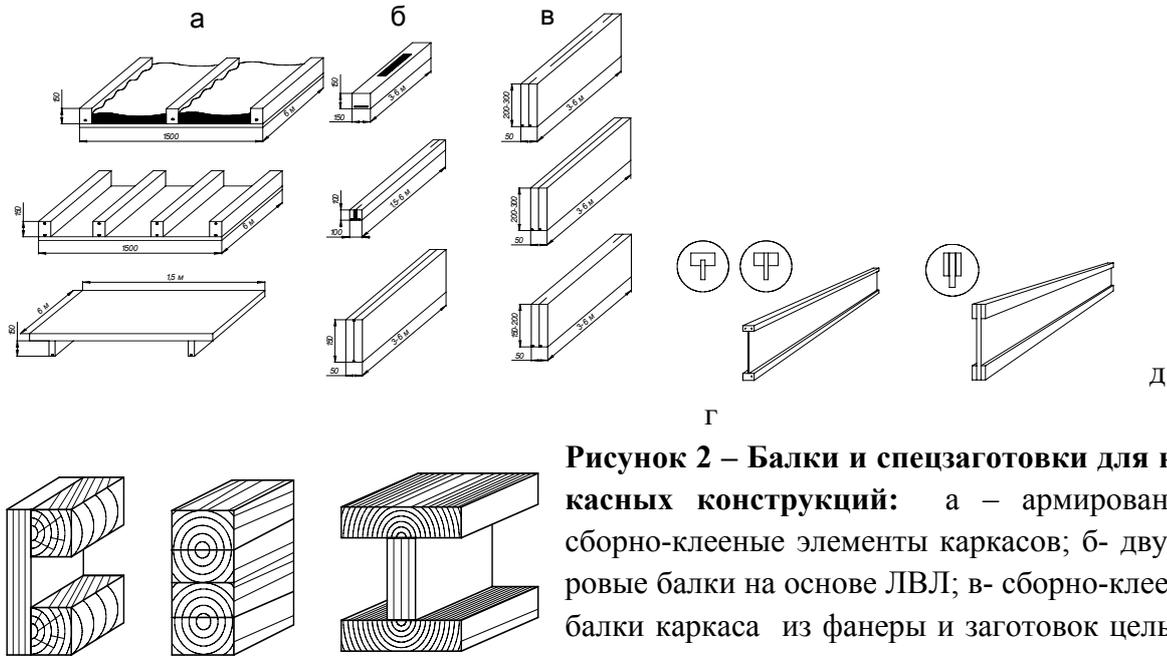
Для изготовления каркасов стен и панельных конструкций различного назначения широко используют клееные и профилированные заготовки в виде балок с определенной формой сечения. При этом выбор конфигурации каркасных элементов зависит от применяемых способов и средств соединения стеновых фрагментов между собой.



**Рисунок 1 – Сборка каркаса стеновых панелей на координатно-монтажном стапеле:**

1 - перфорированная координатная стойка; 2 - секции для одновременной сборки двух каркасов; 3 - выдвижная координатная стойка (до 3,7 м); 4 -- позиционирование ограничительных упоров; 5 - зажимные пневматические цилиндры и приспособления; 6 - опорно-транспортные ролики; 7 - система регулировки положения стапеля

Для повышения несущей способности каркасов и строений конструкционные используют армированные заготовки. Кроме того, правильно выполненная сборка и склеивание балок служат гарантией формоустойчивости стеновых конструкций в течение всего срока эксплуатации объектов и сохранности заданных параметров качества жилья. На рисунок 2 приведены некоторые виды заготовок для каркасных конструкций современных деревянных строений.



**Рисунок 2 – Балки и спецзаготовки для каркасных конструкций:** а – армированные сборно-клееные элементы каркасов; б- двутавровые балки на основе ЛВЛ; в- сборно-клееные балки каркаса из фанеры и заготовок цельной древесины

Сборка каркасных стен производится непосредственно в процессе монтажно-строительных работ, и качество ее будет зависеть, прежде всего, от точности изготовления отдельных деталей, подготовки соединительных узлов и элементов, комплектации блоков изделий, применяемой техники и технологии строительства. Требуемую жесткость каркасу придают фанерно-клееные или другие обшивки, а также различные вставки и раскосы, размещаемые внутри стеновых конструкций. При этом толщина, слойность, состав и прочие характеристики листового покрытия стен или панелей подбираются так, чтобы в заданных условиях эксплуатации была исключена пространственная неустойчивость и возможность излишней деформации как отдельных фрагментов, так и стеновых конструкций в целом.

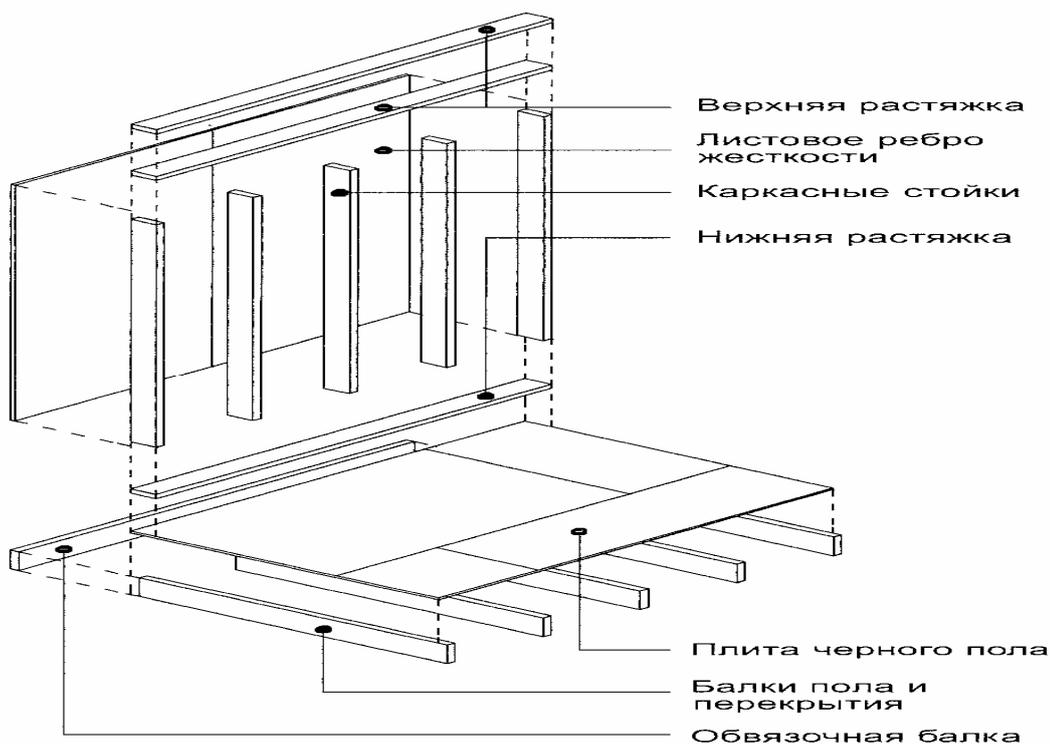


Рисунок 3 – Основные детали и принципы формирования каркасной конструкции строения

Каркасные строения должны быть хорошо подготовлены к монтажу еще на этапе изготовления и комплектования конструкций. В этой связи разрабатываются основные приемы и способы сборки отдельных элементов в целостную строительную систему заданного объема (рисунок 4).

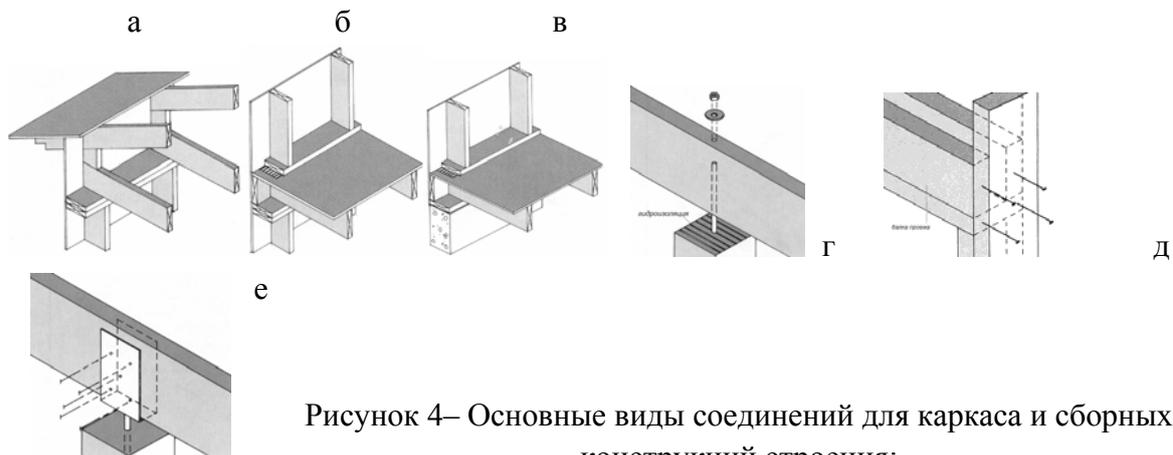


Рисунок 4– Основные виды соединений для каркаса и сборных конструкций строения:

- а - соединение наружной стены и верхнего перекрытия; б – соединение наружной стены и межэтажного перекрытия; в – соединение наружной стены и нижнего перекрытия;
- г – крепление балки с помощью нарезного штыря; д – крепление балки с помощью балочного башмака и гвоздей; е - соединение элементов каркаса гвоздями

Обшивки как на панелях, так и на каркасах строений устраиваются по определенной схеме и должны обеспечивать надежную защиту внутреннего стенового пространства от промерзания, попадания снега, дождя и влаги в зону закладки теплоизоля-

ционного материала, а также формоустойчивость конструкций, составляющих строительный объем здания (рисунок 5).

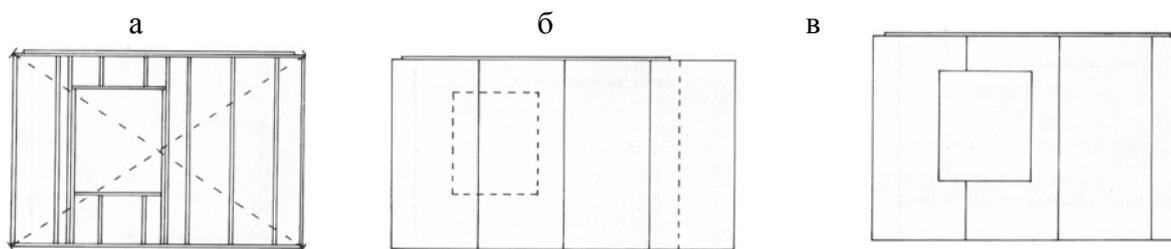


Рисунок 5 – Обшивка наружной стороны стенового каркаса плитами:

а - проверка перекрестных размеров; б – укладка и закрепление плит на каркасе плит;  
в – контурная обрезка обшивочного полотна и выпиливание проемов

Таким образом, конструкционная надежность деревянных каркасов, применяемых в домостроении, технически обеспечена и в полной мере соответствует предъявляемым требованиям. Для особых случаев строительства, в том числе при сооружении двух- и трехуровневых домов большого объема и площади, могут быть использованы армированные деревянные балки и профилированные металлоконструкции в виде швеллеров, уголков, двутавров.

В настоящее время значительно возросли нормативные теплотехнические параметры жилых объектов. Это потребовало изыскания и разработки новых способов и средств утепления стен, пола, чердачных перекрытий, а также подбора для заполнения каркасных конструкций более эффективных теплоизоляционных материалов. Примеры использования дополнительных облицовочных покрытий из пластиковых панелей, кирпича, показывают, что такие конструкторские решения хорошо зарекомендовали себя в строительной практике. Они вместе с решением теплотехнической проблемы, обеспечивают еще и выполнение таких важных задач как защищенность объектов от разрушающих воздействий среды и архитектурное оформление здания (рисунок 6).

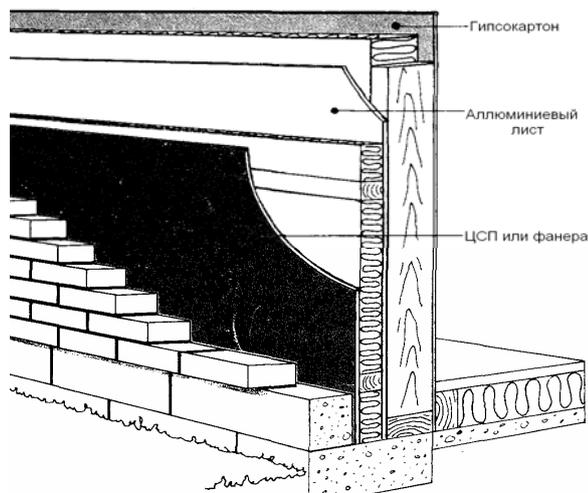


Рисунок 6 – Конструкция стены каркасно-панельного дома, облицованного кирпичом

Утеплитель, вводимый в пространство между основной стеной и дополнительной обшивкой или кирпичной кладкой, полностью защищает от промерзания стеновых конструкций или перегрева помещений. Однако, этот слой стены дома необходимо надежно защи-

тить от увлажнения. Это обеспечивается прокладками из паро- и гидроизолирующего материала, устройством вентиляционного контура, специальной обработкой поверхностей гидрофобными веществами и т. д.

Наиболее широко используемые в строительстве теплоизоляционные материалы – это синтезированные низкоплотные продукты на органической основе и минера-

ловатные утеплители различных видов (табл. 1). Укладка теплоизоляционных формованных материалов должна быть плотной, а для дополнительного удержания их в устойчивом вертикальном положении следует применять различные фиксаторы положения (сетки металлические, бруски или пластины из листовой стали, клеи и др.). Во многих случаях можно применить заливочные теплоизолирующие составы, в том числе клеящие с эффектом герметика (рисунок 7).

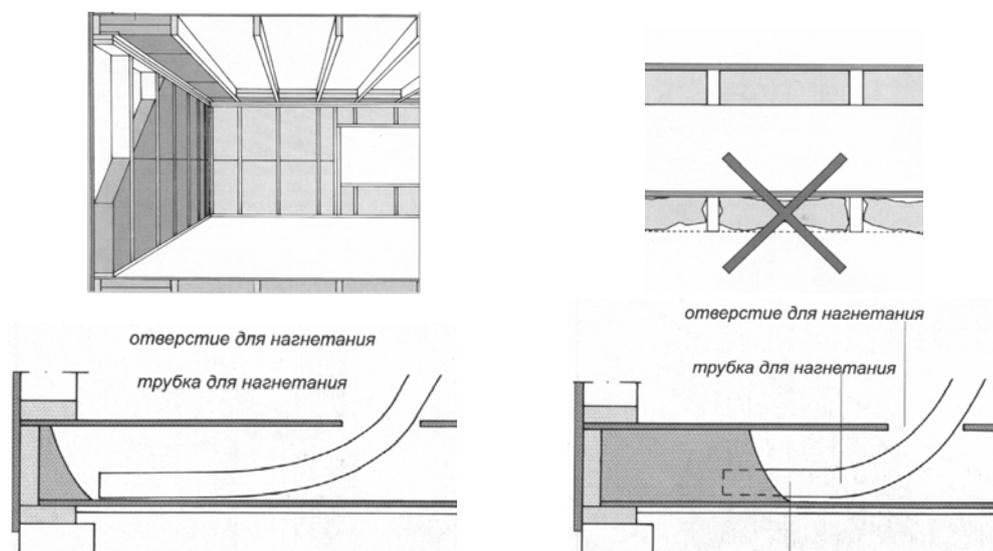


Рисунок 7 – Способы заполнения каркасного пространства теплоизоляционным материалом:

- а - изоляционное заполнение стен формованными плитами (матами);
- б - заливная изоляция конструктивных элементов каркасного строения

Таблица 1 – Теплоизоляционные материалы для каркасно-панельного домостроения

Наименование продукта	Физико-технические свойства и механические показатели утеплителей					
	плотность, кг/м <sup>3</sup>	теплопроводность, Вт/м·К	диапазон температур °С	водопоглощение, %	прочность на сжатие, кН/м <sup>2</sup>	группа горючести
Минераловатные плиты из базальтовых пород:	- мягкие	75	0,036	до +400		не горюч. Г1
	- полужесткие	75-125				
	- гофрированные	160-190	0,038			

Стекловата	13-85	0,037-0,046	-60+180	5	0,1÷0,4	не горюч
Минеральная вата из вулканических пород	30-1000	0,032-0,042	до +900	менее 2	3÷32	
Целлюлозная вата	30-70	от 0,04				
Пенопласты	12-50	0,033-0,04	до +75	менее 0,5	0,15÷0,7	
Жесткий пенополиуретан	30-200	от 0,022	-200+150			

Обустройство каркасных жилых объектов с наружной стороны различными обшивками, облицовочными материалами, защитно-декоративными покрытиями, ограждающими панелями имеет первостепенное значение для обеспечения безопасности строений, создания современного и привлекательного архитектурного облика, увеличения сроков службы строительных конструкций (рисунок 8).

К одному из наиболее перспективных направлений в деревянном домостроении в свете рассматриваемых задач можно отнести применение сэндвич-панелей на основе пенополиуретанового наполнителя. Они представляют собой трехслойные ограждающие конструкции, которые крепятся к деревянному каркасу строения при помощи специальных болтов.

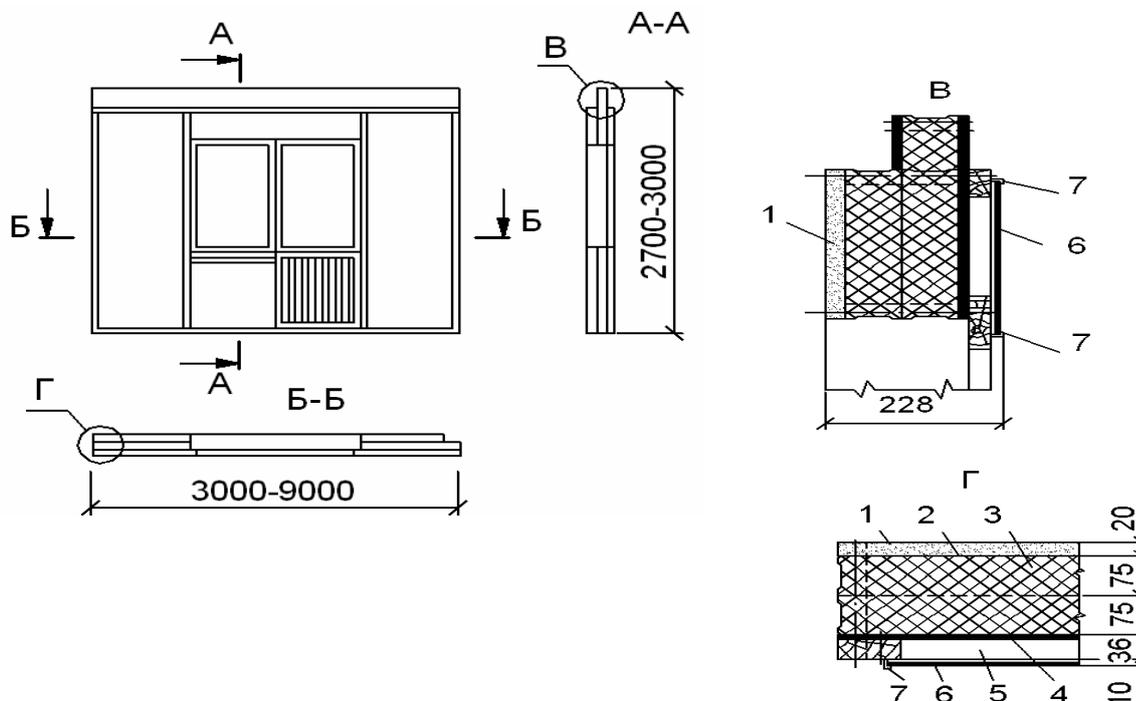


Рисунок 8 – Легкая стеновая панель с деревянным каркасом:

- 1 – внутренняя обшивка панели из ЦСП; 2 – пароизоляция; 3 – утеплитель из минераловатных плит; 4 – средний слой обшивки из асбоцемента; 5 – воздушная прослойка; 6 – экран из асбоцемента; 7 – алюминиевая раскладка

Для финишной облицовки и дополнительного утепления дома можно применить несущие панели с товарным названием «Термобрик», которые рассчитаны на температурный диапазон среды от  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ . Эти сэндвич-панели состоят из облицовочного слоя (керамической плитки), песчаной прослойки, пенополиуретанового заполнителя и фанерной основы. Они относятся к группе трудновоспламеняющихся строительных материалов и имеют достаточно высокие физико-механические показатели (таблица 2).

Таблица 2 – Основные физико-механические показатели сэндвич-панелей

Наименование показателя	Значение
1. Плотность пенополиуретана в панели, $\text{кг}/\text{м}^3$	40-50
2. Коэффициент теплопроводности (при $25^{\circ}\text{C}$ ), $\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$ , не более	0,045
3. Прочность при сжатии, при 10% деформации, МПа не менее	0,13
4. Водопоглощение за 24 часа, при насыщении водой от б%, не более	2
5. Разрушающее напряжение при изгибе, МПа, не менее	0,35
6. Температура размягчения по Вика при 10 Н, $^{\circ}\text{C}$ , не менее	180

В производстве панелей «Термобрик» используют следующие продукты:

- керамическую плитку размером  $192 \times 58 \times 6$  мм, соответствующую ГОСТ 13996-93 или ее аналоги;

- пенополиуретан «Корундиол» 425-2 (компонент А) и «Корундинат» ПМ 45-25(компонент В);

- бакелизированную фанеру и цементно-стружечные плиты.

Тепловое сопротивление панелей  $1,026 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ , что соответствует данному показателю для кирпичной стены толщиной 90 см.

При разработке новых конструкций панельных и каркасных домов, совершенствовании соединительных узлов в стеновых элементах, использовании других теплоизоляционных материалов вместо пенополиуретанов особых сложностей в применении облицовочных панелей с керамическим покрытием не возникает. На рис. 9 приведена схема соединения стеновых панелей, выполненных на жестком деревянном каркасе, между собой и закрепления на них облицовочного покрытия «Термобрик».

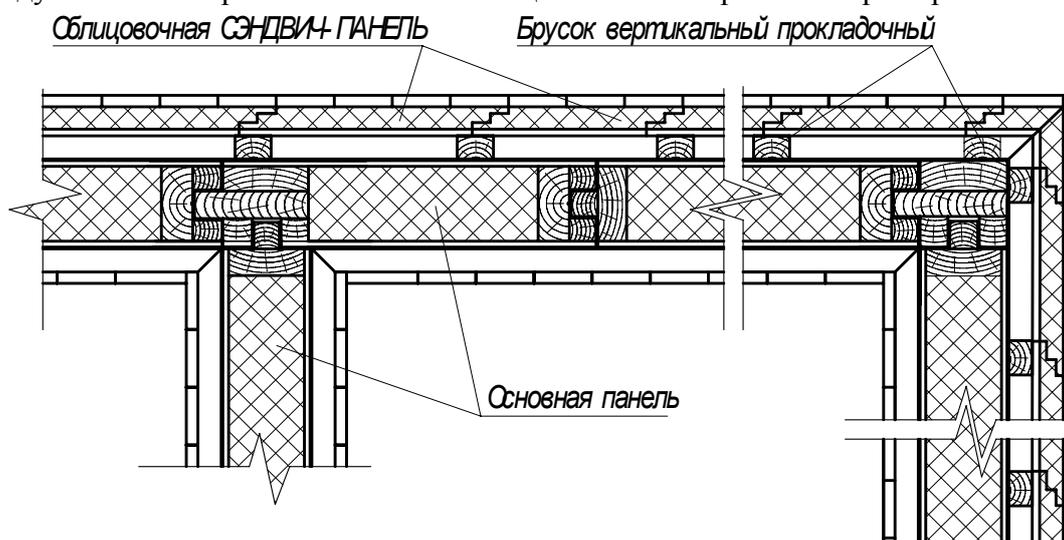


Рисунок 9 – Схема установки и соединения стеновых панельно-каркасных конструкций

Рассмотренные варианты конструкционных и монтажно-строительных решений могут быть рекомендованы для обеспечения производства и строительства быстровозводимых малоэтажных домов. Небольшая масса конструкций позволяет использовать облегченные фундаменты и свайные опоры. Полная заводская готовность строительных компонентов практически исключает необходимость привлечения к работам опытных плотников, плиточников, каменщиков.

Эти дома хорошо приспособлены к эксплуатации в суровых климатических условиях, а затраты, связанные с их возведением значительно меньше, чем при строительстве объектов с использованием кирпича, бетона и других материалов.

### **ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ МОНТАЖНОЙ ГОТОВНОСТИ МОДУЛЬНЫХ ЖИЛЫХ СТРОЕНИЙ БЫСТРОГО РАЗВЕРТЫВАНИЯ**

**Левинский Ю. Б., Омигов С. А. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)**

*levinskyi@bk.ru*

### **INCREASING OF A LEVEL OF ASSEMBLY READINESS OF MODULAR INHABITED STRUCTURES OF FAST EXPANSION**

Проблема заводского изготовления мобильных жилых строений на основе деревянных конструкций и панелей остается актуальной в связи с нерешенностью многих задач по обеспечению оперативности и надежности монтажа объектов. В то же время простые и малогабаритные жилые дома, точнее, домики, достаточно широко востребованы для проживания или социально-хозяйственной деятельности людей в районах освоения новых земель, разработок месторождений, начального градостроительства. При этом стараются выполнить работы по обустройству жилья быстро и с небольшими капитальными затратами. Одним из приоритетных направлений является применение временных лёгких конструкций, обладающих многократной оборачиваемостью. Это позволяет производить без особых затрат перемещение всего строения или его составных частей на новое место эксплуатации в соответствии с сезонными, технологическими и социальными потребностями. Таким образом, применение строительных конструкций модульного типа или блочных контейнеров является наиболее рациональным и эффективным средством застройки населенных пунктов оперативного или краткосрочного назначения.

Мобильные строения имеют высокий уровень заводской готовности к возведению на строительной площадке и приспособлены для быстрого развёртывания. Их отличает от привычных строительных сооружений жилого и хозяйственного назначения относительная простота форм и конструкций, минимальный вес при заданных теплофизических характеристиках, возможность транспортировки практически полностью смонтированных блочных комплектов к месту застройки, и высокая скорость монтажа.

Среди мобильных строений значительное место занимают конструкции без ходовой части, которые представляют наибольший практический интерес. Их спектр широк - от простейшей палатки до пакетируемого трансформируемого блок-контейнера.

Цельные модули блочного типа наиболее подготовлены к сооружению жилых и административно-хозяйственных объектов быстрого развертывания. Однако, объемная строительная ячейка, каковой является модуль, очень неудобна для транспортировки, поскольку приходится применять мощные автотрейлеры или железнодорожные платформы. Это существенно ограничивает возможности поставки контейнерных объектов жилого назначения в труднодоступные районы.

Другую группу мобильных строений представляют пакетируемые модули. Пакетируемость – это способность всей модульной конструкции складываться в компактный объём. Такая трансформация изделия позволяет значительно упростить транспортировку комплектов, сократить затраты при перевозке, хранении и возведении зданий. Стеновые панели, из которых состоит пакетируемый модуль, укладываются на основу пола и накрываются кровельной панелью, образуя компактный пакет (рисунок 1.)

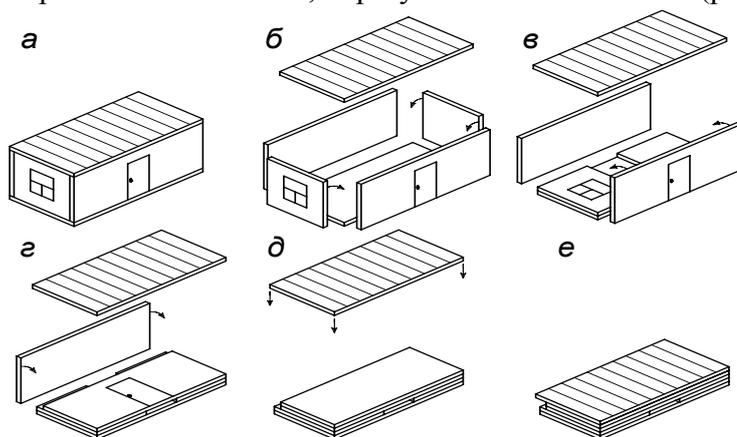


Рисунок 1 – Схема трансформации жилого модуля в строительный блок-пакет

При производстве таких комплектов необходимо не только обеспечить конструкционную надежность отдельных стеновых панелей, но также и предусмотреть создание прочных и удобных в сборке крепежно-соединительных узлов. Часто именно эта задача оказывается трудновыполнимой, что заставляет отказаться от изготовления пакетируемых строительных модулей.

Конструкция блок-пакета представляет собой крупнопанельное каркасное или бескаркасное здание из несущих панелей и перекрытий размером на комнату. Панели блока состоят из каркаса на основе деревянных брусков или досок, обшивки и утеплителя. В основании блок-пакета вмонтирована опорная рама, выполненная из стальных прокатных профилей, которая придаёт необходимую жёсткость панели пола и служит траверсой для подъёма блок-пакета.

Основными недостатками такой конструкции являются: необходимость применения специальных грузоподъёмных машин при сборке блок-модуля на строительной площадке и возможное смещение уложенных панелей друг относительно друга при транспортировке.

Нами была поставлена задача усовершенствования конструкции сборно-разборного блок-модуля. В новом изделии необходимо обеспечить более высокий уровень по всем показателям качества жилья и соответствие современным нормативным требованиям. В усовершенствованном блок-пакете (рисунок 2.) каждая панель соединена между собой при помощи специальных шарниров, вмонтированных в стеновые панели, панели перекрытия и основания. Такое конструктивное решение значительно

упрощает трансформацию блок-модуля в компактный пакет и обратно. Складывание блок-пакета начинается с приподнимания одного края крыши и сдвигания её относительно боковой панели (рисунок 2, б). Затем на панель основания укладываются торцовые и одна из боковых панелей (рисунок 2, в). Завершающим этапом разборки модуля является наклон второй боковой панели с закреплённой на ней панелью крыши (рисунок 2, г). Возведение блок-контейнера из пакета осуществляется в обратном порядке.

Развёртывание здания осуществляется в короткий срок бригадой состоящей из 3 – 4 человек без использования тяжёлой грузоподъёмной техники. Все операции по поднятию панелей проводятся при помощи обычной лебёдки

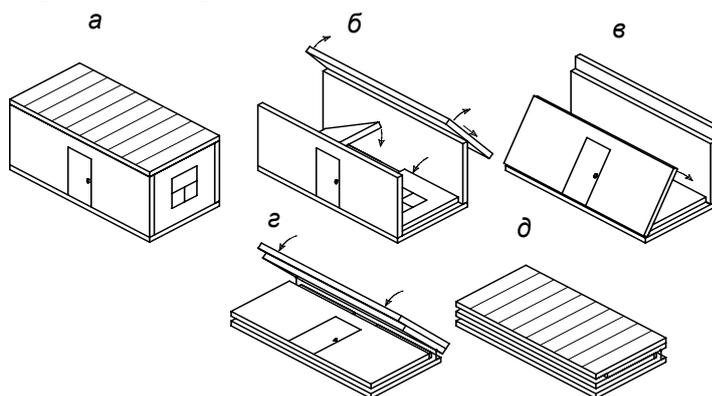


Рисунок 2 – Схема складывания блок-контейнера в компактный блок-пакет

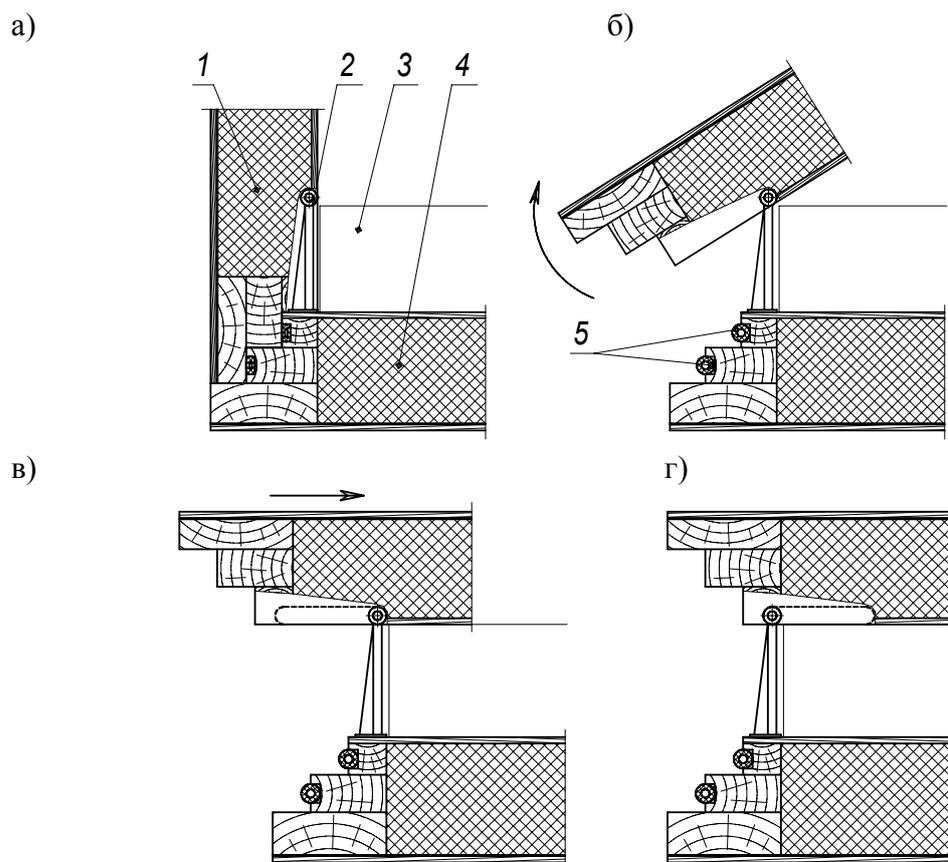


Рисунок 3 – Сборка углового соединения панелей на шарнире:

- 1 – панель боковая; 2 – шарнир подвижный;
- 3 – панель торцовая (в сложенном виде); 4 – панель основания;
- 5 – трубчатый теплоизолятор

Разработанное угловое соединение панелей (рисунок 3.) обладает достаточно высокой прочностью и за счёт применения трубчатого теплоизолятора отвечает всем теплотехническим требованиям, предъявляемым к мобильным строениям.

Соединение металлических шарниров с панелями осуществляется строго в местах прохождения деревянного каркаса для обеспечения прочности соединения панель–шарнир. Для усиления конструкции может быть применен металлический каркас или деревянный армированный

Шарнир, представленный на (рисунок 3.), позволяет боковой панели, вращаться вокруг панели основания (рисунок 3, б) и линейно перемещаться относительно неё (рисунок 3, в). Линейное перемещение панелей уменьшает габаритные размеры получаемого блок-пакета. Аналогичный шарнир используется для соединения боковой панели с панелью крыши.

Все применяемые шарниры должны иметь высокую прочность, необходимую для надёжного поворота массивных панельных конструкций, и обладать, при этом, небольшой массой.

### **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНОЙ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ФАНЕРЫ НА ОСНОВЕ ОСИНОВОГО И БЕРЕЗОВОГО ШПОНА**

**Левинский Ю.Б., Савина В.В.** (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)  
*levinskyi@bk.ru*

### **INCREASE CONSTRUCTIVE PROTECTION OF FIRE PLYWOOD QUALITY ON A BASIS ASPEN AND BIRCH VENEER**

Фанера является одним из лучших материалов, применяемых в производстве каркасных и панельных домов. Она используется для наружных обшивок стен и деталей каркасных балок, обеспечивая высокую прочность, стабильность размеров и эксплуатационную надёжность ограждающих конструкций. Эффективность применения клееных слоистых материалов из шпона в домостроении может значительно возрасти, если удастся решить следующие задачи:

- повысить огнестойкость строительных конструкций;
- уменьшить массу строительных изделий и компонентов;
- обеспечить стабильность физико-механических показателей строительных конструкций на длительный срок их эксплуатации.

Традиционно строительная фанера изготавливается из древесины сосны и лиственницы. Ее качество не отвечает в полной мере современным требованиям, но умеренное потребление дорогостоящих водостойких клеев и применение толстого шпона (2,8...4,2мм) поддерживают оптимальный уровень соотношения «цены и качества».

Поисковые исследования, проведенные в лабораторных условиях УГЛТУ, показали, что одним из перспективных направлений в решении имеющихся проблем является разработка комбинированной строительной фанеры на основе осинового и березового шпона.

**Цель исследований:** - повышение эффективности производства и качества изготовления огнезащитной фанеры на основе новых приемов защитной обработки.

Общая проблема проводимых исследований - ограничение способов и средств подготовки шпона к производству огнезащитной фанеры. Это означает, что для заводских условий нет возможности рекомендовать эффективный способ автоклавной пропитки (метод избыточного давления), средства контактной (прессовой) сушки пропитанного антипиреном шпона и т.д.

В фанерном производстве имеется опыт применения весьма специфического антипирена - водного раствора ЖКУ (жидкое комплексное удобрение), технология обработки шпона которым не вызывает больших затруднений. Пропитка, как правило, осуществляется в теплых ваннах с температурой раствора 60-75<sup>0</sup>С. Насыщение в заводских условиях, например, березового шпона антипиреном за 20-25 минут составляет около 20%, что оказывается достаточным по показателю горючести получаемой ОЗФ.

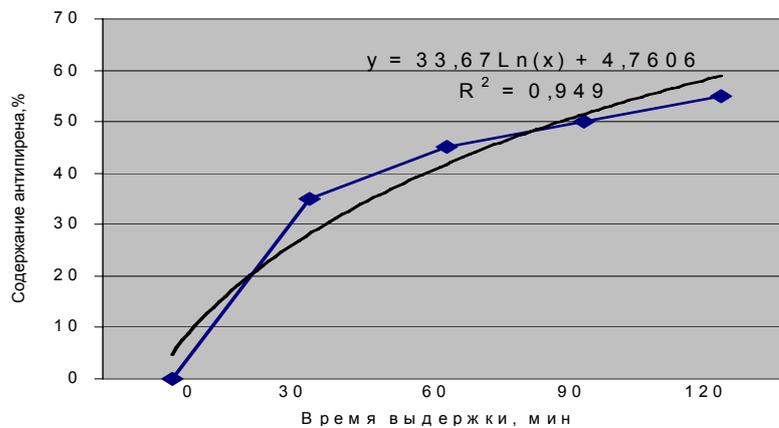


Рисунок 1– Поглощение антипирена шпоном при температуре 60-70 °С

Продолжительность пропитки и насыщение материала огнезащитным препаратом зависит от способов и средств обработки, но для уровня 20 – 25% разница в получаемом эффекте оказывается незначительной (рисунок 2).

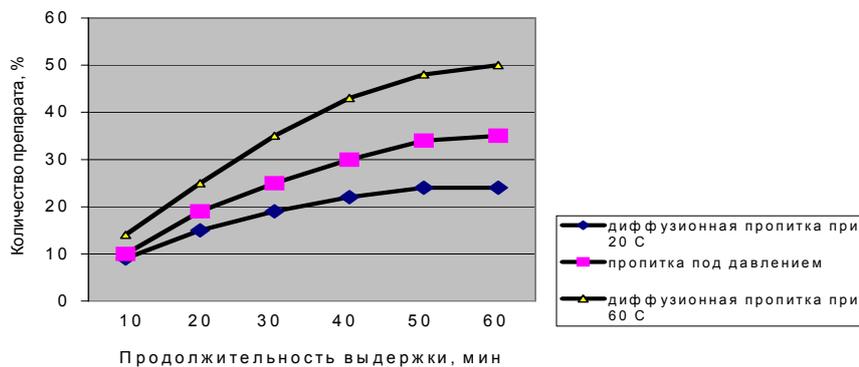


Рисунок 2 – Зависимость насыщения древесины раствором ЖКУ от способа обработки

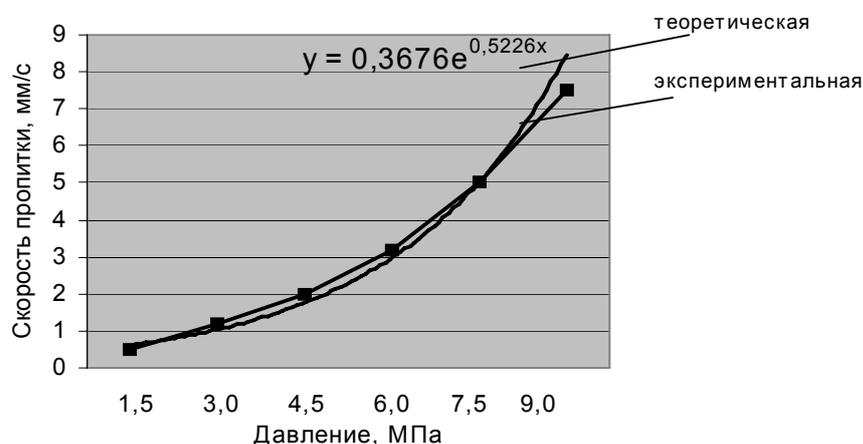
Одной из наиболее важных проблем в данном вопросе является задача повышения качества склеивания пропитанных антипиренами деталей, заготовок, материалов. Она возникает как при склеивании конструкций, так и при последующем облагораживании (облицовке, ламинировании, отделке). Возможно, склеиванию мешают кристал-

лизованные соли, обычно выходящие на поверхность, а также изменение структуры и даже состава древесины. По данным исследований, выполненных в Московском государственном университете леса, огнезащищенная фанера по всем параметрам находится на уровне значений водостойкой фанеры марки ФСФ, а по параметру горючести оказывается в 13 раз эффективнее клееного материала из «чистого» шпона. Однако, несколько снижается фактическая прочность склеивания. В этой связи необходимо создать более благоприятные условия для получения качественных клеевых соединений повышенной прочности.

Чтобы получить прочную фанеру, причем, обладающую повышенной огнестойкостью, предложено проводить физико-механическую модификацию осинового шпона. Для этого листы шпона насыщаются водным раствором антипирена и уплотняются в обжимной установке. Пропитка древесины огнезащитным составом происходит в 5-7 раз быстрее, чем диффузионным способом, так как шпон после пяти - десятиминутного пребывания в ванне сразу же поступает в прокатный стан. Солевой раствор почти «вгоняется» в древесину. Данная операция может быть неоднократно продублирована с целью получения наибольшего эффекта уплотнения древесины и ее насыщения антипиреном. Давление при прокатке шпона в обжимной установке может устанавливаться с учетом состояния древесины, допустимого ее уплотнения и желаемой скорости насыщения материала антипиреном. Характер изменения интересующих нас выходных параметров наглядно иллюстрируется на рис. 3 и 4. Сушка шпона после такой процедуры не представляет какой-либо сложности, но требуется исключить факторы, которые приводят к химическому разложению огнезащитного состава.

Проводимые исследования по использованию прокатанного в валковой установке осинового лущеного шпона могут стать определенной основой для совершенствования производства огнезащищенной фанеры. Цель этих исследований - уменьшение потребления клеевых материалов, калибрование толщины шпона и повышение гладкости его поверхности.

Отрицательным моментом в данном случае является высокая совокупная степень уплотнения древесины (совокупная упрессовка), приводящая к избыточному потреблению сырья. Минимальный расход клеевых материалов и достижение значительных по величине физико-механических показателей продукции гарантируют определенный экономический эффект от внедрения разработки. Для условий производства ОЗФ данное предложение может стать еще более выгодным, если прокатку шпона использовать еще и как



средство интенсивного наполнения его антипиреном.

Рисунок 3 – Зависимость скорости пропитки от давления на материал

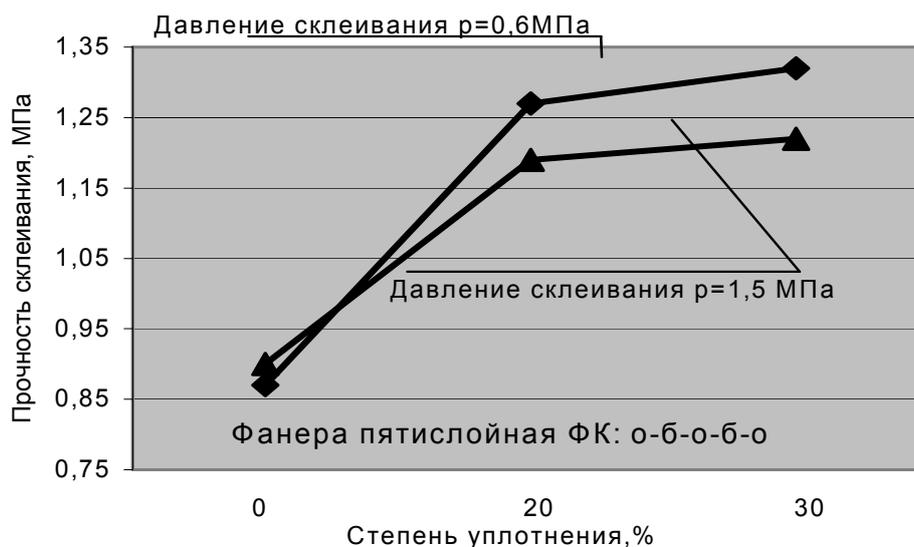


Рисунок 4 – Зависимость прочности клеевых соединений от величины предварительного уплотнения осинового шпона

На образцах пятислойной фанеры получены следующие показатели:

- прочность при скалывании по клеевому слою не менее 1,6 МПа
- расчетный расход древесины на 1м<sup>3</sup> продукции около 3,6м<sup>3</sup>, а клея на 1м<sup>2</sup> склеиваемой поверхности – в пределах 75-100г (на 25-30% меньше, чем в условиях склеивания необработанного шпона);
- средняя плотность материала составляет 600-650 кг/м<sup>3</sup> при содержании антипирена в нем в количестве 15 – 17%.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные научно-экспериментальные исследования и теоретические изыскания являются первым этапом большой НИР, включающей в себя разработку более совершенной технологии ОЗФ. Предложенное направление является достаточно новым и в определенной степени оригинальным, так как в процесс изготовления клееного слоистого материала из шпона вводится ранее не используемый в практике предприятий способ обжимной прокатки заготовок (листов шпона). Обеспечивается при этом двойной положительный эффект – повышение прочности склеивания и интенсификация насыщения древесины специальным огнезащитным продуктом (раствор ЖКУ).

Опыты, выполненные в лаборатории Уральского государственного лесотехнического университета, подтверждают, что в 2,5 – 3 раза сокращается время пропитки (обработки) шпона и на 20-30% возрастает прочность склеивания.

Вполне эффективным и предельно простым является устройство для обжима листов – одно- или двухрядные гладкие металлические вальцы. Они могут быть легко встроены в типовой технологический поток фанерного предприятия.

## **СВОЙСТВА ВОДНЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ И ПОКРЫТИЙ НА ИХ ОСНОВЕ**

**Газеев М.В., Путнева Ю.В., Жданова И.В.**  
(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [gazeev\\_m@list.ru](mailto:gazeev_m@list.ru)

### **THE PROPERTIES OF WATER PAINT AND VARNISH MATERIALS FOR WOOD AND COVERINGS ON THEIR BASIS**

На сегодняшний день существует широкий ассортимент лакокрасочных материалов для отделки изделий из древесины. Они классифицируются по назначению (шпатлевки, грунтовки, лаки, эмали и др.) и по химической природе пленкообразователя (полиэфирные, пентафталевые, нитроцеллюлозные, полиуретановые, мочевиновые, меламинные, водные) [1].

К перечисленным материалам предъявляется ряд требований:

- содержать как можно больший сухой остаток при рабочей вязкости;
- обладать хорошей адгезией к древесной подложке и смежным слоям покрытия;
- быстро отверждаться на поверхности древесной подложки;
- высыхать без значительной объемной усадки и напряжения;
- образовывать влагонепроницаемые, твердые покрытия и в то же время достаточно эластичные, чтобы выдержать напряжения, связанные с изменением влажности древесины в процессе ее эксплуатации;
- образовывать атмосферостойкие покрытия;
- экологичность или содержание в своем составе менее токсичных растворителей.

Среди современных лакокрасочных материалов водные системы являются наиболее перспективными экологически чистыми материалами для отделки изделий из древесины, как с точки зрения токсичности, так и пожаробезопасности.

В то время как во многих странах они внедряются в мебельную промышленность во все больших масштабах, в России также наметилась тенденция к производству водных лакокрасочных материалов для изделий из древесины. В Уральском регионе фирма ООО «Эм лак Урал» представила на рынок широкий ассортимент лаков, красок, шпатлевок и грунтовок на водной основе.

Поступающие на деревообрабатывающие предприятия лакокрасочные материалы должны подвергаться испытаниям на соответствие техническим условиям по ОСТ 13-27-82 [2]. Проведение таких испытаний необходимо не только для контроля качества этих материалов, но и для правильного выбора режимов их применения.

На кафедре механической обработки древесины Уральского государственного лесотехнического университета были проведены исследования. Основная цель - изучение свойств водных лакокрасочных материалов фирмы ООО «Эм лак Урал» и защитно-декоративных покрытий на их основе. Были проверены лаки «Балет +», «Эколак бесцветный», «Эколак тик», грунтовки «Экогрунт бел», «Экогрунт тик», «Экогрунт-антипайл» и краски «Акрэм-комфорт 20» и «Экопласт».

В результате испытаний были определены следующие показатели свойств жидких лакокрасочных материалов: вязкость, сухой остаток, время высыхания, степень пе-

ретира и укрывистость пигментированных материалов, розлив, краевой угол смачивания, расход и показатель преломления лаков.

Формирование системы защитно-декоративных покрытий осуществляли на образцах сосновых древесных подложек при помощи пневматического распылителя. Соблюдение режимов формирования покрытий позволяет получить качественную отделку. Особенностью нанесения водных лакокрасочных материалов распылением является повышенное давление в системе, примерно на 25 % больше, чем при окраске обычными лакокрасочными материалами на основе токсичных органических растворителей. В результате получены системы прозрачных покрытий на основе лаков «Балет +», «Эколак бесцветный», «Эколак тик» и непрозрачных покрытий на основе красок «Акрэм-комфорт 20» и «Экопласт» (рисунок 1).

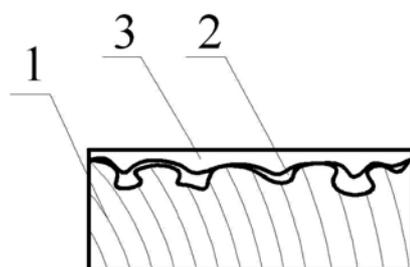


Рисунок 1 – Структурная схема защитно-декоративного покрытия:

1 – подложка, 2 – грунт, 3 – лак или краска

Полученные покрытия были испытаны на адгезионную прочность, твердость, теплостойкость, стойкость к удару и на изгиб, определена толщина, влагопоглощение, блеск, а так же проведены испытания на стойкость покрытий к воздействию химических реагентов. Результаты испытания защитно-декоративных покрытий на стойкость к химическим реагентам представлены на рис. 2, 3, 4. Оценка производилась по бальной системе, где 0 баллов – без изменений, 2 балла – незначительные изменения, 4 балла – изменения. На диаграмме (рисунки 2, 3, 4) представлена шкала - наименование покрытий, где

- 1 - один слой грунта «Экогрунт антипайл» + два слоя лака «Балет +»;
- 2 - один слой грунта «Экогрунт антипайл» + два слоя лака «Эколак бесцветный»;
- 3 - один слой грунта «Экогрунт тик» + два слоя лака «Эколак тик»;
- 4 - один слой грунта «Экогрунт тик» + два слоя лака «Эколак бесцветный»;
- 5 - один слой грунта «Экогрунт антипайл» + два слоя лака «Эколак тик»;
- 6 - один слой грунта «Экогрунт антипайл» + два слоя краски «Акрэм-комфорт 20»;
- 7 - один слой грунта «Экогрунт белый» + два слоя краски «Экопласт».

По результатам испытания можно сделать вывод, что лакокрасочные материалы соответствуют техническим условиям и обладают хорошими технологическими, эксплуатационными и декоративными свойствами, что позволит получать покрытия на древесной подложке с высокими показателями качества, а именно покрытия толсто-слойные, равномерно распределенные на подложке. По показателю блеска лак «Балет +» дает полуглянцевое покрытие, а остальные материалы образуют полуматовые по-

крытия, которые обладают высокой адгезионной прочностью к древесной подложке, водостойкостью, теплостойкостью и высокой эластичностью в сочетании с высокой твердостью.

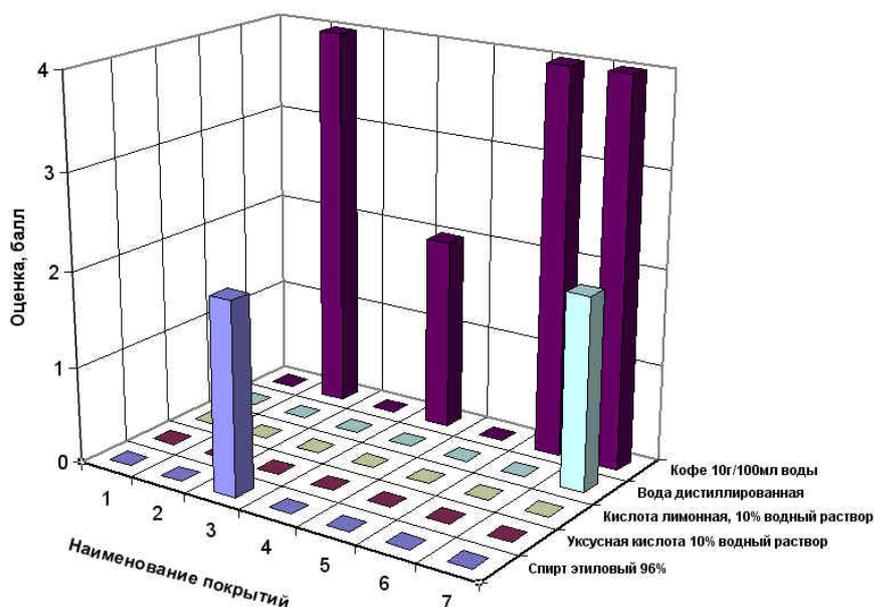


Рисунок 2 – Диаграмма оценки защитных свойств лакокрасочных покрытий к действию химических реагентов

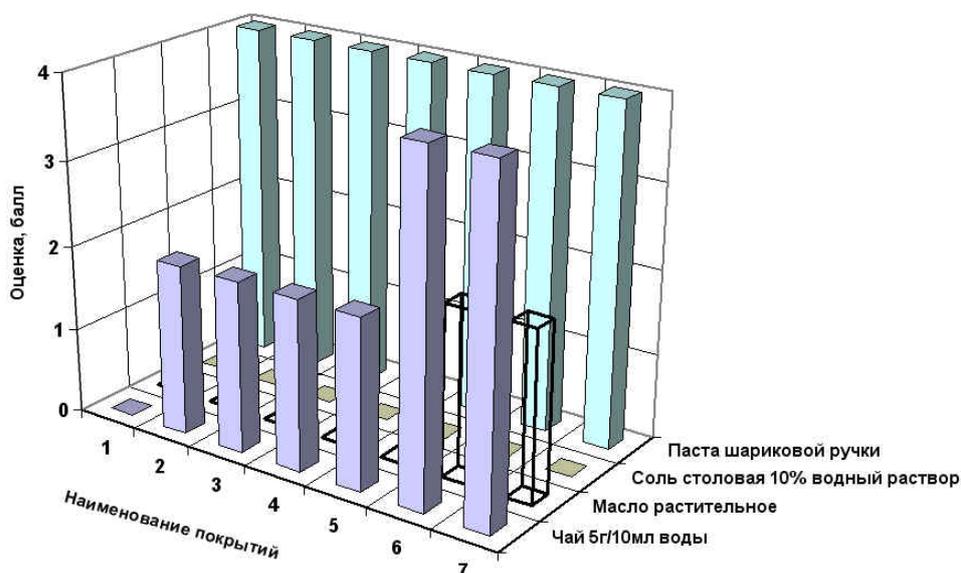


Рисунок 3 – Диаграмма оценки защитных свойств лакокрасочных покрытий к действию химических реагентов

Главным достоинством водных лакокрасочных материалов является экологичность и высокое содержание сухих веществ до 60%, благодаря чему они обладают пониженной пожароопасностью, обеспечивают благоприятные условия труда, уменьшают требования к пожаро- и взрывоопасности помещений и достаточно быстро высыхают в

сочетании с хорошими декоративными и физико-механическими свойствами покрытий. По результатам испытаний лакокрасочные материалы фирмы «Эм лак Урал» можно рекомендовать для формирования защитно-декоративных покрытий на изделиях мебели, оконных и дверных блоках эксплуатируемых как внутри, так и снаружи помещений.

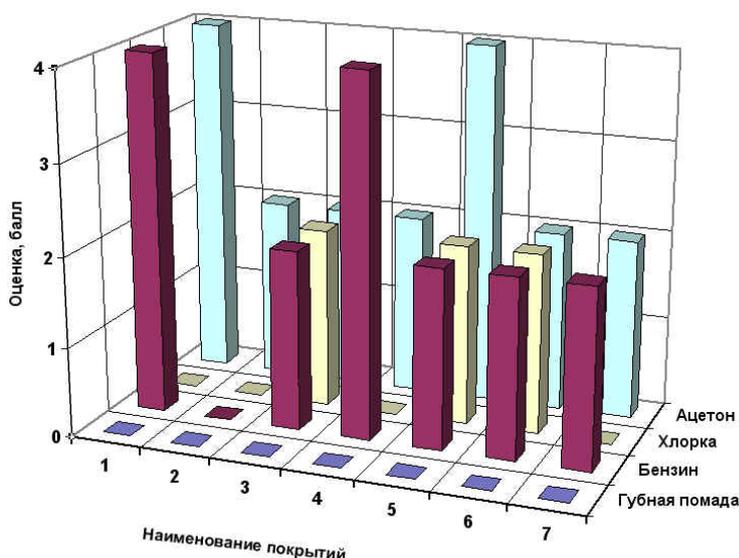


Рисунок 4 – Диаграмма оценки защитных свойств лакокрасочных покрытий к действию химических реагентов

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбин Б.М. Технология и оборудование защитно-декоративных покрытий для древесины и древесных материалов: Учебник для вузов – М.: МГУЛ, 2003. – 568 с.
2. Карякина М.И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий. – М.: Химия, 1988. – 252 с.

## ЛАКОКРАСОЧНЫЕ КОМПОЗИЦИИ С ЗАЩИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ ОТ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Шишкина С.Б., Ветошкин Ю.И., Говоров Г.Г. (УГЛТУ,  
г.Екатеринбург, РФ) [okto2@ekt.ural.customs.ru](mailto:okto2@ekt.ural.customs.ru)

## PAINT OF A COMPOSITION WITH PROTECTIVE PROPERTIES FROM X-RAY RADIATION

Основной целью процесса отделки изделий из древесины и древесных материалов на сегодняшний день является не только улучшение внешнего вида и технико-эксплуатационных показателей продукции, но и правильный подбор материалов для конкретных областей применения. В настоящее время ассортимент лакокрасочных ма-

териалов состоит из широкой гаммы составов, различных по природе, свойствам и назначению [1]. Классификация лакокрасочных материалов приведена на рисунок 1.

Всё более широкое распространение различных видов электромагнитных излучений в промышленности, медицине, повседневной жизни человека требует совершенствования, разработки, изучения и применения новых высокоэффективных материалов, среди которых важное место занимают лакокрасочные материалы.



Рисунок 1 – Классификация лакокрасочных материалов

Рентгеновское излучение по праву нашло своё применение в таких областях как медицина и исследования внутренней структуры изделий. Малая длина волны данного вида излучения, их большая «жесткость», являются причиной, обуславливающей их основные свойства: высокую проникающую способность, действие на фотоплёнку, способность вызывать ионизацию веществ, через которые они проходят. Наряду с положительным эффектом, рентгеновское излучение является вредным и опасным для здоровья и жизни людей, поэтому в местах, где доза излучения превышает предельно допустимые величины, необходимо использовать защитные материалы [2].

На сегодняшний день известны лакокрасочные композиции с защитными свойствами от рентгеновского излучения, состав которых условно можно разделить на две группы: на основе эпоксидных олигомеров и с применением отходов оптического стекла [3]. Данные материалы имеют ряд существенных недостатков: малый срок экс-

плутации (например, в составах на основе эпоксидных олигомеров под воздействием ионизирующего излучения процесс необратимого разрушения начинается через 3-4 месяца), сложную технологию изготовления материалов и формирования покрытий, высокую стоимость [4].

На кафедре механической обработки древесины Уральского государственного лесотехнического университета были проведены поисковые работы, целью которых являлось определение состава лакокрасочной композиции, обладающей защитными свойствами от рентгеновского излучения. Были проработаны два варианта композиционных составов, где в качестве наполнителя использован природный сульфат бария, а в качестве связующего – воднодисперсионная краска на акриловой основе и жидкое стекло. Для улучшения эксплуатационных и эстетических свойств композиций использовались модифицирующие добавки.

В ходе проведения поисковых работ был определён рациональный диапазон содержания компонентов в исследуемых композициях, обеспечивающий хорошую адгезию к древесной подложке, вязкость, необходимую для формирования покрытий, высокие показатели декоративных свойств [5].

Для практического подтверждения полученных результатов образцы покрытий на основе исследуемых композиций прошли рентгенографические испытания при различных режимах облучения на диагностическом стационарном рентгеновском комплексе РУМ-20 М в рентгеноотделении Свердловского областного клинического психоневрологического госпиталя ветеранов войн. На основании полученных данных были сделаны выводы об обладании композиционными составами защитных свойств, уровень которых в данном случае можно определить с помощью условного коэффициента защиты. За условный коэффициент защиты принята способность негатива рентгенографического снимка образцов покрытий пропускать интенсивный световой поток [6]. Зависимость условного коэффициента защиты от мощности режима облучения представлена на рисунок 2.

Применение предлагаемых лакокрасочных композиций с защитными свойствами от рентгеновского излучения позволяет получить ряд преимуществ:

- более высокие показатели защитных свойств по сравнению с составом на основе отходов оптического стекла;
- хорошую адгезию к древесной подложке;
- хорошие декоративные свойства покрытий.

На основании проведённых исследований полученные лакокрасочные композиции можно рекомендовать для формирования покрытий на древесине и древесных материалах с защитными свойствами от рентгеновского излучения, а также для завершения комплексной отделки рентгенкабинетов. Применение предлагаемых лакокрасочных композиций требует дальнейших исследований по определению оптимальной рецептуры составов и технологии формирования покрытий на их основе [7].

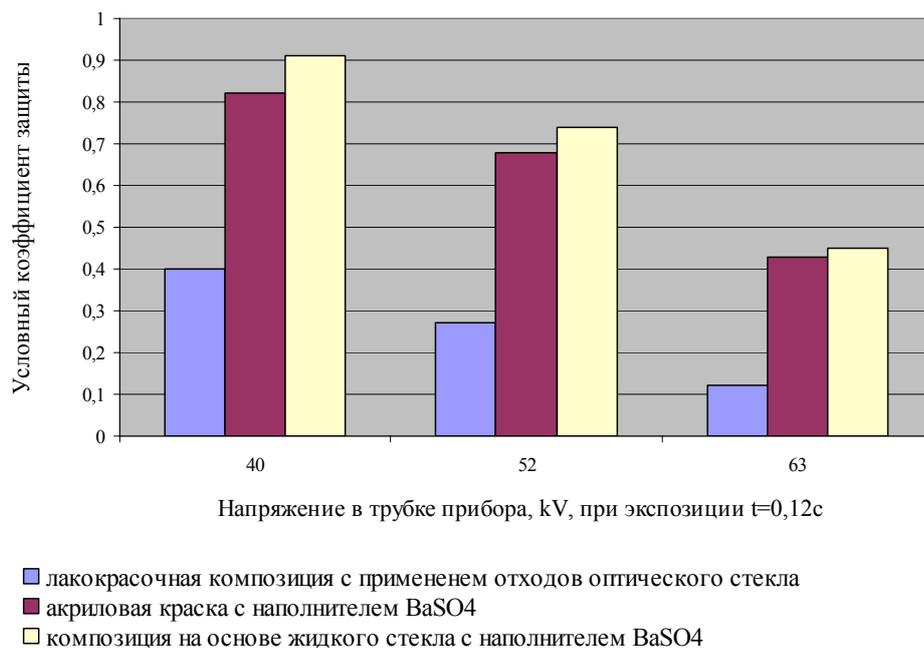


Рисунок 2 – Зависимость условного коэффициента защиты от напряжения в трубке прибора при экспозиции  $t = 0,12$  с

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жуков Е.В., Онегин В.И. Технология защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов. — М.; Экология, 1993. — 304 с.
2. Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующего излучения. — М., Госэнергоиздат, 1963.
3. Князев В.К. Радиационная стойкость лакокрасочных покрытий. — М., Атомиздат, 1971.
4. Ларичева-Бакаева В.П. Эпоксидные смолы и радиация. — М., НИИТЭХИМ, 1976. — №10.
5. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. — Киев, Техника, 1975.
6. Карякина М.И. Лабораторный практикум по техническому анализу и контролю производств лакокрасочных материалов и покрытий. — М., Химия, 1989. — 168 с.
7. Рыбин Б.М. Технология и оборудование защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов. — М., МГУЛ, 2003. — 568 с.

## **ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ НА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

**Коновалова Ю.М.** (УГЛТУ, Екатеринбург) [jul321@rambler.ru](mailto:jul321@rambler.ru)

### **PRODUCTION THERMAL AND ELECTRICAL ENERGY OF WOOD GARBAGE ON A WOODSTORAGE ENTERPRISE**

Лесоперерабатывающий комплекс является энергоемкой отраслью. Затраты на электрическую и тепловую энергию составляют в структуре себестоимости продукции предприятий лесопромышленного комплекса до 20% и уступают только затратам на сырье. Лесозаготовительные предприятия являются менее энергоемкими. Однако, в структуре себестоимости затраты на тепловую энергию на этих предприятиях также составляют значительную часть – до 8%.

Около 60% предприятий лесозаготовительной отрасли – основы лесопромышленного комплекса – являются убыточными. [1]. По данным Госкомстата, в 2004 г. в Свердловской области было 43 убыточных лесозаготовительных предприятия, что составляет 55,1 % всех лесозаготовительных предприятий.

Перевод лесозаготовительных предприятий на собственные источники тепловой и электрической энергии является одной из самых действенных мер, повышающих эффективность их работы. Производство тепловой и электрической энергии позволит полезно использовать неликвидную древесину (дрова и отходы) на выработку ликвидной продукции, цены на которую растут опережающими темпами, и повысить конкурентоспособность вырабатываемой из древесины продукции за счет использования собственной энергии [1].

В настоящее время, возможно использовать два способа производства электрической и тепловой энергии из растительной биомассы: прямое сжигание топлива и двухстадийное сжигание топлива путем предварительной термохимической газификации.

При прямом сжигании топлива используются конденсационные паротурбинные установки, работающие по схеме: паровой или водогрейный котел – паровая турбина. Принципиальная схема паротурбинной установки представлена на рисунок 1 [2].

Основное необходимое оборудование – паровые котлы, паровые турбины, электрогенераторы и другое – в России производится.

При двухстадийном сжигании растительного топлива, растительная биомасса предварительно газифицируется в газогенераторе, а затем газ поступает в энергогенерирующую установку.

Для выработки электрической и тепловой энергии из генераторного газа возможно использование нескольких схем:

- газогенерирующая установка – двигатель внутреннего сгорания (рисунок 2);
- газогенерирующая установка – паротурбинная установка (рисунок 3);
- газогенерирующая установка – газотурбинная установка (рисунок 4).

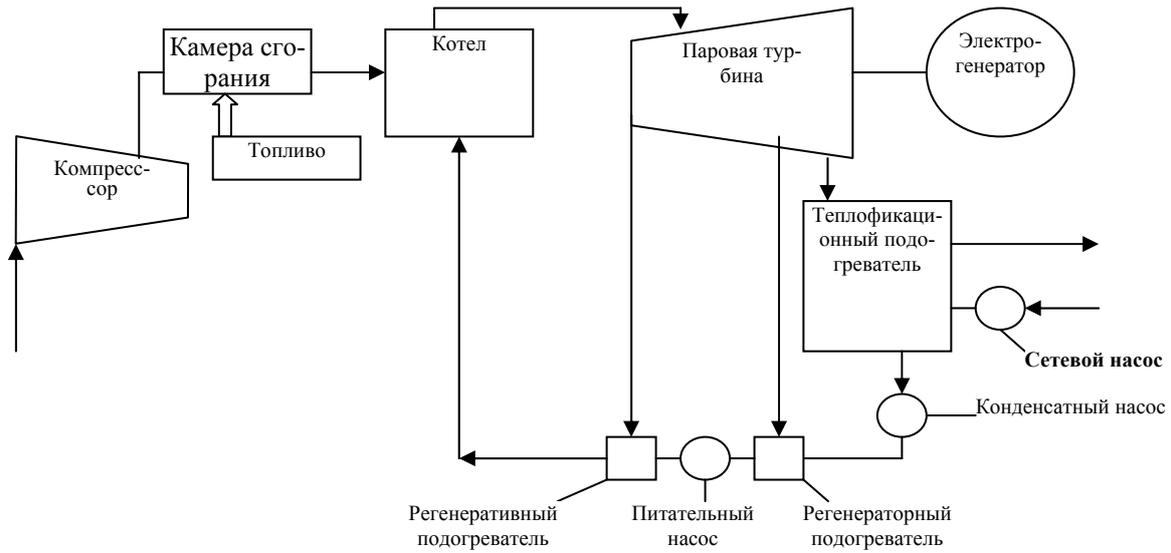


Рисунок 1 – Принципиальная схема паротурбинной установки

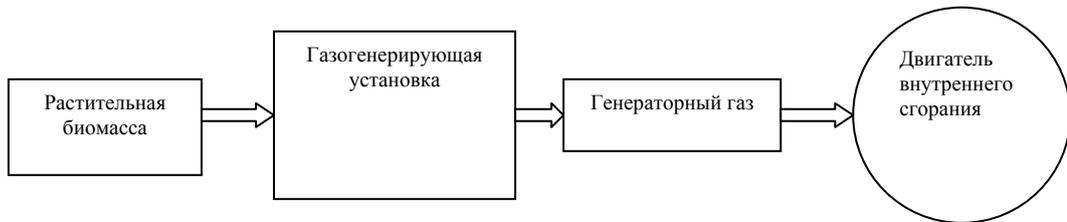


Рисунок 2 – Газогенерирующая установка – двигатель внутреннего сгорания

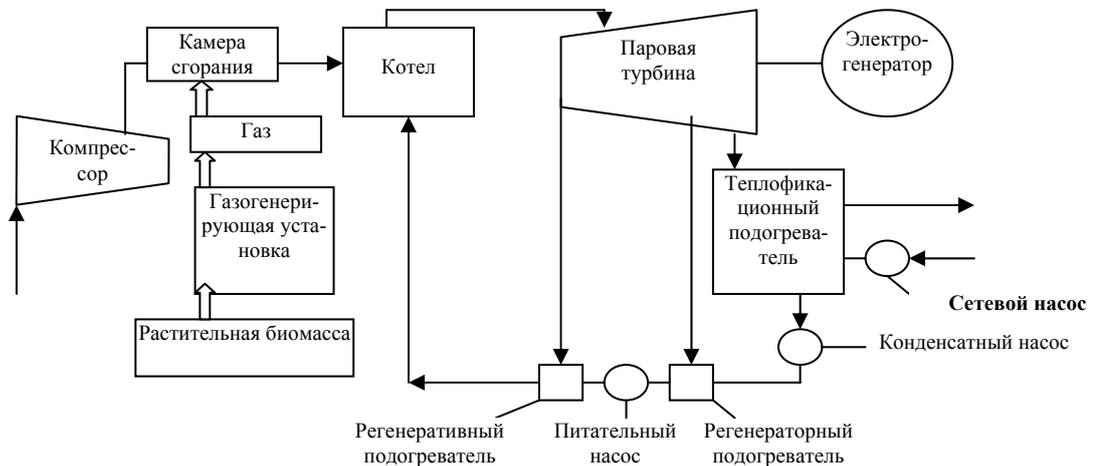


Рис. 3 – Газогенерирующая установка – паротурбинная установка

В настоящее время существует множество схем и режимов газификации, отличающиеся направлением движения рабочих сред, способом подачи и видом окисления. Это такие способы газификации как газификация в неподвижном слое, газификация в кипящем слое, каталитический реформинг и флеш-пиролиз [3]. На Российских предприятиях производятся газогенераторные установки серии УГК. Это: УГК-60 (мощностью 60 кВт), УГК-100 (мощностью 100 кВт) и УГК-200 (мощностью 200 кВт) [4].

Схема: газогенерирующая установка – двигатель внутреннего сгорания. Двигатель внутреннего сгорания представляет собой тепловой двигатель, в котором часть химической энергии топлива, сгорающего в рабочей полости, преобразуется в механическую энергию. В рассматриваемой установке следует применять газовые двигатели внутреннего сгорания с внешним смесеобразованием. [3]

В схеме газогенерирующая установка – паротурбинная установка, представленная на рис. 3., используется такая же паротурбинная установка как при прямом сжигании топлива, только в камеру сгорания поступает не твердое топливо, как при прямом сжигании, а газ от газогенерирующей установки.

Схема, представленная на рис. 4 газогенератор – газотурбинная установка значительно проще, чем схема с использованием паротурбинной установки. В ней нет парового котла и конденсатора [2].

При производстве тепловой и электрической энергии с использованием газотурбинных установках газогенераторный газ требует дополнительной, более глубокой очистки.[3]

Эффективность производства энергии с использованием древесного топлива определяется как параметрами ТЭС, так и возможностями рационального использования тепловой и электрической энергии в оптимальных соотношениях.

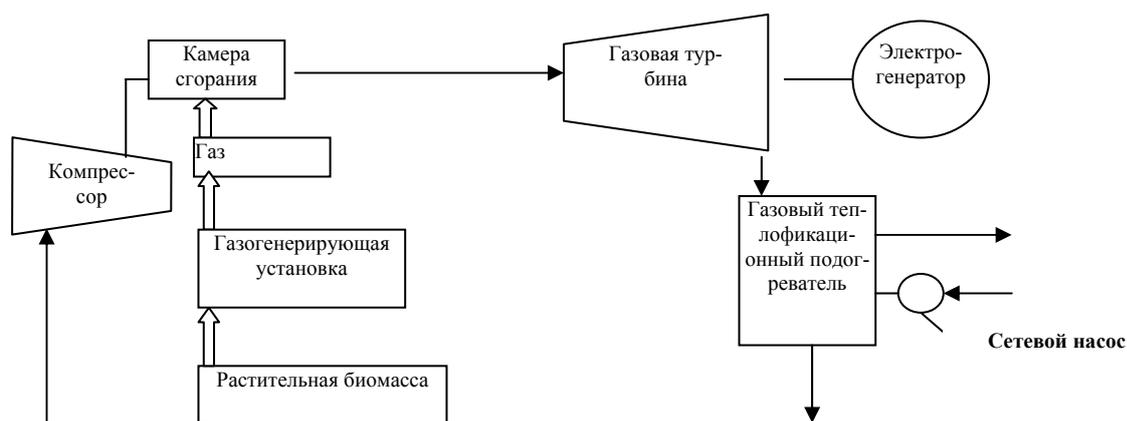


Рис. 4 Схема газогенерирующая установка – газотурбинная установка

Таким образом, выработка собственной энергии стимулирует углубление степени переработки древесины, производство более наукоемкой, а, следовательно, и более дорогой продукции, делает лесозаготовительные предприятия более конкурентоспособными.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. <http://qncpkte.nm.ru> Суханов В.С., Идашин В.И. Каким быть лесозаготовительному предприятию XXI века.
2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 7-е изд., стереот. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.: ил.
3. Боровков В.М., Зысин Л.В., Сергеев В.В. Итоги и научно-технические проблемы использования растительной биомассы и органосодержащих отходов в энергетике.// Известия РАН: Энергетика. 2002. №6.-С.13-23.
4. Газогенераторные технологии.// Деловой лес. 2006. №3(63).-С.60.

**РАСЧЕТ ВОЗМОЖНОГО ВЫХОДА ОБЪЕМОВ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗВЕСТНОЙ ТАКСАЦИОННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ НАСАЖДЕНИЙ**

Коркин Е.С. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [eskorkin@rambler.ru](mailto:eskorkin@rambler.ru)

**THE CALCULATION OF THE CARVING WOOD'S POTENTIAL VOLUME RECOVERY FOR STANDING CROP'S PARAMETERS**

Сложность и динамичность развития рыночных отношений в лесной промышленности с каждым годом выдвигает все больше требований к управлению использованием сырья при производстве различных видов продукции (например, пиломатериалов).

Исходя из данных предыдущих лет по выпуску пиломатериалов и анализа текущего состояния рынка пиломатериалов, лесопромышленное предприятие планирует выпуск пилопродукции на определенный период времени (например, 1 год). Зная таксационную характеристику насаждений, планируемых предприятием в рубку на этот же период времени, актуальными могут быть вопросы:

1. Какова максимально возможная выработка спецификационных пиломатериалов (по объемному, стоимостному или многокритериальному показателям)?
2. Возможно ли реализовать планируемый выпуск пилопродукции? Если возможно, то каковы минимальные затраты пиловочного сырья?

Нами осуществлена попытка ответить на эти вопросы путем создания специализированного программного комплекса, сущность работы которого сводится к следующему алгоритму (рис.1). Алгоритм состоит из трех последовательных этапов (представлены в прямоугольниках). Расчеты каждого этапа выполняются на основе исходных данных (представлены в ромбах) и данных предыдущих этапов.

**Этап 1: определение ресурсов пиловочного сырья**

Данные о таксационной характеристике каждой древесной породы насаждений, необходимые для расчетов ресурсов сырья следующие: порода  $r$ , средний диаметр  $d$ , см, разряд высот  $\mu$ ,  $Q_{r\mu}$  – объем запаса  $r$ -ой породы  $\mu$ -го разряда высот, тыс.м<sup>3</sup>,  $q_{r\mu}$  – выход деловой древесины, %.



Рисунок 1 – Алгоритм расчета возможного выхода объемов пиломатериалов

В основу определения ресурсов пиловочного сырья положена методика расчета выхода круглых лесоматериалов при специализированной раскряжевке хлыстов (СРХ) [1]. Автором этой методики для выявления потенциального выхода определенного сортамента из хлыстов были разработаны варианты их специализированной раскряжевки. Методический подход составления таких вариантов основывается на выполнении следующих требований:

- назначается приоритетный (ведущий) сортимент ограниченного числа длин;
- назначаются сопутствующие сортименты в заданной последовательности их выпуска, с целью рационального использования товарных зон хлыста.

При выполнении лесопромышленным предприятием раскряжевки хлыстов согласно тому или иному варианту СРХ, пользуясь уравнениями коэффициентов максимального выхода (КМВ), можно рассчитать потенциальный выход приоритетного сортамента. Приведем примеры таких уравнений для соснового пиловочника обычного третьего разряда высот [2]:

$$K_{jr\mu}^d = -181,5(d - 11,4)^{-1} + 102 \quad (1)$$

$$K_{0jr\mu}^d = -77,5(d - 13,044)^{-1} + 85,65 \quad (2)$$

где  $K_{jr\mu}^d$  - КМВ пиловочника, полученного из *здоровых хлыстов*,  $K_{0jr\mu}^d$  - КМВ пиловочника, полученного из *низкокачественных хлыстов*,  $d$  – диаметр насаждения на уровне груди,  $j$  – сортимент,  $r$  – порода,  $\mu$  - разряд высот.

Поясним значения терминов *здоровый хлыст* и *низкокачественный хлыст*. Практически на раскряжевку поступают древесные стволы, изменившие свою товарную структуру. Причина этого в нарушении требований правильного выполнения технологических операций, предшествующих раскряжевке, или хранения хлыстов в запасах [3]. Долю деловой древесины, вырабатываемой из низкокачественных хлыстов, рассчитывают по нижеследующим эмпирическим формулам:

$$\text{для березы [3]:} \quad E_{r\mu} = 1,67d_{r\mu} - 1,33q_{r\mu} + 94,4, \quad (3)$$

$$\text{для осины [3]:} \quad E_{r\mu} = 83,4 - 0,8d_{r\mu} + 0,16q_{r\mu}, \quad (4)$$

$$\text{для сосны [1]:} \quad E_{r\mu} = 180 + 0,114d_{r\mu} - 1,6q_{r\mu}, \quad (5)$$

где  $d_{r\mu}$  – средний диаметр насаждения на уровне груди  $r$ -й породы,  $\mu$ -го разряда высот, см;  $q_{r\mu}$  – выход деловой древесины из хлыстов  $r$ -й породы  $\mu$ -го разряда высот по лесотаксационной оценке, %;  $E_{r\mu}^d$  - доля деловой древесины из низкокачественных хлыстов.

Соответственно доля деловой древесины из здоровых хлыстов составит

$$\lambda_{r\mu} = (100 - E_{r\mu}). \quad (6)$$

Вычисления по формулам 1-6 позволяют перейти непосредственно к расчету объемного выхода  $j$ -го сортамента:

$$V_j = 10^{-6} \cdot \sum_r \sum_\mu Q_{r\mu} \cdot q_{r\mu} \cdot (\lambda_{r\mu} \cdot K_{jr\mu}^d + E_{r\mu} \cdot K_{0jr\mu}^d), \quad (7)$$

где  $Q_{r\mu}$  – объем запаса  $r$ -ой породы  $\mu$ -го разряда высот, тыс.м<sup>3</sup>.

Для определения размерной характеристики полученных объемов пиловочного сырья, используются математико-статистические выкладки описания параметров пред-

мета труда Редькина А.К. и Чувелева А.Я [4]. Авторами рассматривается диаметр пиловочного сырья как случайная величина  $D_p$ , см, определяемая по формуле

$$D_p = e^{3,433} \cdot V^{0,262} \cdot l^{-0,117}, \quad (8)$$

где  $e$  – основание натуральных логарифмов;  $V$  – средний объем раскряжеванных хлыстов, тыс.м<sup>3</sup>;  $l$  – средняя длина пиловочного сырья, м.

Формула среднего квадратического отклонения  $\sigma$  имеет вид:

$$\sigma = 0,43961 \cdot D_p - 3,50189. \quad (9)$$

Используя зависимости (8, 9) можно определить полное распределение пиловочного сырья по диаметрам, которое подчиняется нормальному закону распределения.

### Этап 2: генерирование возможных схем раскря пиловочного сырья

Данные о планируемых к выработке спецификационных пиломатериалах представляются в следующем виде (табл. 2).

Таблица 2 – Перечень спецификационных пиломатериалов

№ п/п	толщина, мм	ширина, мм	требуемый объем, тыс.м <sup>3</sup>
1	$a_1$	$b_1$	$W_1$
2	$a_2$	$b_2$	$W_2$
...	...	...	...
n	$a_n$	$b_n$	$W_n$

Развитие функциональных возможностей ЭВМ позволило выйти теории раскря пиловочного сырья на качественно новый уровень. Стало доступным составление поставов не просто оптимальных размеров пиломатериалов, а пиломатериалов, заданных конкретной спецификацией. Такие поставы получили название *оптимальные спецификационные*.

В работе [5] нами обозначены недостатки существующих основополагающих методик по составлению таких поставов и предложен свой подход к решению данной проблемы. На рисунке 3 изображена общая структура алгоритма составления поставов в рамках такого подхода. Рисунок 2 содержит графическое изображение схемы раскря. Суть данной методики заключается в составлении поставов по следующей схеме. Сначала формируется предварительный постав спецификационных пиломатериалов  $P_z$ , входящих в пропиленную часть бревна. Далее, на основе этого поставы составляется совокупность поставов дополнительных досок первого  $nP_{z1}$  и второ-

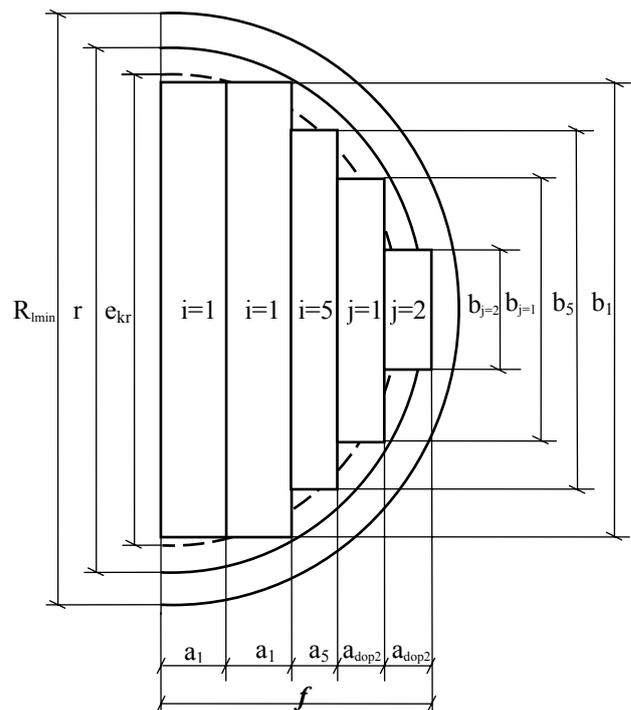


Рисунок 2 - Схема раскря  $P_z$

го  $mP_{z2}$  проходов. Таким образом, мы имеем не один постав  $P_z$  с единственным набором боковых досок, а целое множество, равное  $m \cdot n$  поставов. В связи с отсутствием принципиальной разницы поиска боковых досок первого прохода от поиска боковых досок второго прохода на рис. 1 не отражен блок поиска второго прохода.

**Описание алгоритма составления поставов**

Блок 1 последовательно перебирает спецификационные пиломатериалы, а блок 2 проверяет возможность добавления того или иного  $i$ -го пиломатериала к формируемому поставу  $P_z$ .

Величина  $f$  представляет собой сумму толщин уже добавленных в текущий постав пиломатериалов – охват поставы (с целью упрощения модели, в формулах, представленных на рисунке не учтены такие параметры, как пропилены 1-го и 2-го прохода, усушка пиломатериалов, допустимый обзол).

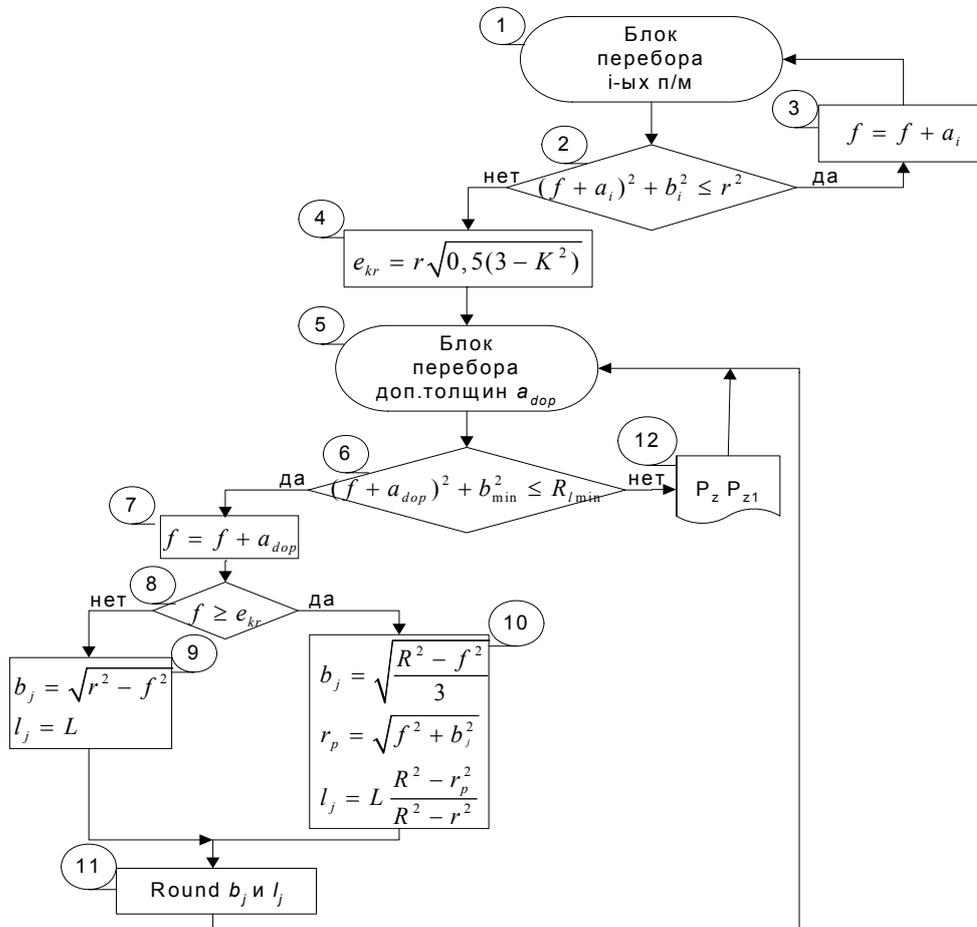


Рисунок 3 – Алгоритм составления поставов

$i$  – номер п/м в спецификации;  $f$  – ширина формируемого поставы;  $a_i$  и  $b_i$  – толщина и ширина  $i$ -го п/м;  $r$  – вершинный радиус бревна;  $e_{kr}$  – величина, разделяющая пифагорическую и параболическую зоны бревна;  $K$  – сбеги;  $a_{доп}$  – величина дополнительной толщины;  $j$  – номер боковой доски;  $b_{min}$  – минимально допустимая ширина боковых досок;  $R_{min}$  – значение диаметра бревна, при минимально допустимой длине боковых досок;  $L$  – длина бревна;  $R$  – комлевой радиус бревна;  $b_j$  и  $l_j$  – ширина и длина  $j$ -ой боковой доски;  $r_p$  – значение расчетного диаметра;  $P_z$  – постав основных досок,  $P_{z1}$  – постав боковых досок 1-го прохода.

При справедливости неравенства блока 2,  $i$ -й пиломатериал добавляется к формируемому поставу, а к величине  $f$  приплюсовывается значение толщины этого пиломатериала  $a_i$  (блок 3). Невыполнение условия блока 2 говорит о том, что к текущему поставу

больше невозможно добавлять пиломатериалы из спецификации. Поэтому алгоритм переходит к перебору дополнительных толщин (блок 5), предварительно определив значение  $e_{kr}$  в блоке 4.  $e_{kr}$  представляет собой границу между пифагорической и параболической зонами бревна [6].

Блок 5 перебирает дополнительные толщины  $a_{dop}$ . В блоке 6 величина  $R_{min}$  характеризует значение диаметра бревна, при минимально допустимой длине боковых досок. Величина  $b_{min}$  равняется минимально допустимой ширине боковых досок. Удовлетворение неравенства блока 6 говорит о том, что в постав еще могут быть добавлены дополнительные доски. В этом случае блок 7 увеличивает значение  $f$  на величину, равную толщине дополнительной доски  $a_{dop}$ . Таким образом, начинается формирование боковых досок. Блок 8 определяет, в какую зону бревна попадает текущая боковая доска: если в пифагорическую, то значения ее длины  $l$  и ширины  $b$  определяются в соответствии с блоком 9; если в параболическую, то в соответствии с блоком 10.  $r_p$  – значение расчетного диаметра, начиная с которого текущая боковая доска может быть вписана в форму бревна.

После определения в соответствии с блоком 9 или 10 значений  $b$  и  $l$ , происходит их округление до стандартных размеров в блоке 11. Далее алгоритм возвращается к блоку перебора дополнительных толщин (5), который выдает очередное значение  $a_{dop}$ . Невыполнение условия блока 6 означает, что постав окончательно сформировался. Блок 12 фиксирует весь набор досок, входящих в этот постав, после чего повторяется цикл блоков 5-12 с целью поиска других возможных вариантов поставки. Далее алгоритм переходит обратно к блоку 1, откуда цикл повторяется снова и снова до полного перебора всех возможных схем раскроя  $P_z$ .

### Этап 3: составление плана раскроя пиловочного сырья

На этом этапе осуществляется решение оптимизационной задачи, на основе данных полученных в предыдущих расчетах (этапы 1 и 2). Оптимизационная задача предполагает составление целевой функции на максимум (или минимум) того или иного критерия. Примем в качестве такого критерия: «максимум выработки спецификационных пиломатериалов по объемному показателю», что эквивалентно первому вопросу, поставленному в начале статьи. Целевая функция будет иметь вид

$$\sum_{z=1}^m \sum_{i=1}^n P_z \cdot k_{i,z} \cdot W_i \rightarrow \max, \quad (11)$$

где  $P_z$  – количество  $z$ -х поставов,  $k_{i,z}$  – количество  $i$ -х спецификационных пиломатериалов в  $z$ -м поставе,  $W_i$  – объем  $i$ -го пиломатериала,  $m$  – число поставов, участвующих в оптимизационном расчете,  $n$  – число спецификационных пиломатериалов.

Ресурсы пиловочного сырья, рассчитанные на первом этапе, будут являться ограничением данной задачи:

$$\left\{ \sum_{z \in D1} P_z \cdot V_z \leq SumV_z, \sum_{z \in D2} P_z \cdot V_z \leq SumV_z, \dots, \sum_{z \in D_{max}} P_z \cdot V_z \leq SumV_z \right\}, \quad (12)$$

где  $V_z$  – объем пиловочника одного бревна  $z$ -го диаметра,  $SumV_z$  – общий объем пиловочника  $z$ -го диаметра,  $\sum_{z \in D1}$  – означает, что суммируются объемы только того пило-

вочника (с диаметром D1), для геометрических параметров которого составлены z-е поставки.

Для ответа на второй вопрос: «возможно ли реализовать запланированный выпуск пилопродукции», к целевой функции (формула 11) необходимо добавить еще одно ограничение:

$$\left\{ \sum_{z=1}^m P_z \cdot k_{1,z} \cdot W_1 \geq SumW_1, \sum_{z=1}^m P_z \cdot k_{2,z} \cdot W_2 \geq SumW_2, \dots, \sum_{z=1}^m P_z \cdot k_{n,z} \cdot W_n \geq SumW_n \right\}, \quad (13)$$

где  $SumW_i$  – объем запланированного к выпуску i-го пиломатериала.

Для ответа на вопрос «каковы минимальные затраты пиловочного сырья?» требуется составить следующую целевую функцию (в купе с ограничением (13)):

$$\sum_{z=1}^m P_z \cdot V_z \rightarrow \min. \quad (14)$$

### Пример расчета возможного выхода объемов пиломатериалов

В соответствии с рассмотренным алгоритмом планирования выпуска пилопродукции посредством специализированного программного комплекса представим данные результата расчета следующей таксационной характеристики: порода *сосна*, средний диаметр на уровне груди  $d = 32$  см, выход деловой древесины  $q = 89,7\%$ , объем сырья  $Q = 10$  тыс.м<sup>3</sup>. Согласно расчетам первого этапа, объем пиловочного сырья (длина  $l = 6$  м) для таких данных составит  $V = 7,93$  тыс.м<sup>3</sup> со следующим поштучным распределением сырья по толщинам (табл.3).

Таблица 3 – Поштучное распределение пиловочного сырья по толщинам

вершинный диаметр, см	14	16	18	20	22	24	26
количество бревен, шт	2787	3166	3354	3465	3223	2869	2353

Окончание таблицы 3

вершинный диаметр, см	28	30	32	34	36	38	40
количество бревен, шт	1832	1314	891	565	331	182	93

Упростим дальнейшую схему расчета. Будем составлять план раскроя пиловочного сырья с вершинными диаметрами 16, 18, 20 и 22 см. Объем такой выборки  $V = 3,56$  тыс.м<sup>3</sup>. В качестве спецификационных примем следующие размеры пиломатериалов (таблица 4).

Таблица 4 – Перечень спецификационных пиломатериалов, используемых в расчете

№ п/п	толщина, мм	ширина, мм	требуемый объем, тыс.м3
1	50	150	W <sub>1</sub>
2	40	150	W <sub>2</sub>
3	32	150	W <sub>3</sub>
4	50	100	W <sub>4</sub>
5	40	100	W <sub>5</sub>
6	32	100	W <sub>6</sub>

Параметры дополнительных досок: список дополнительных толщин  $a_{dop} = \{25, 19\}$  мм, минимальная длина  $l_{min} = 2$  м, градация по длине  $l_{grad} = 0,1$  м, округление ширин до стандартных размеров.

Прочие параметры: допустимый обзол равен 0%, пропилены пыльного оборудования 1-го прохода равны 3 мм, 2-го прохода – 3 мм, средний сбег сырья равен 1 см/м.

План раскроя пиловочного сырья при оптимизационном критерии «максимум объемной выработки спецификационных пиломатериалов»:

Таблица 5 – План раскроя на максимум объемной выработки

№	D	n	Q <sub>вых</sub>	первый проход			второй проход			
1	20	3465	0,60	$\frac{150}{1}$	$\frac{19 \times 90 \times 4,4}{2}$		$\frac{40 \times 150 \times 6}{2}$	$\frac{32 \times 100 \times 6}{2}$	$\frac{19 \times 80 \times 3,9}{2}$	
2	22	3223	0,61	$\frac{150}{1}$	$\frac{19 \times 110 \times 5,3}{2}$	$\frac{19 \times 75 \times 2,7}{2}$	$\frac{40 \times 150 \times 6}{1}$	$\frac{32 \times 150 \times 6}{2}$	$\frac{32 \times 100 \times 6}{2}$	$\frac{19 \times 80 \times 3,2}{2}$
3	24	2869	0,63	$\frac{150}{1}$	$\frac{25 \times 116 \times 5,9}{2}$	$\frac{19 \times 80 \times 3,3}{2}$	$\frac{50 \times 150 \times 6}{1}$	$\frac{40 \times 150 \times 6}{2}$	$\frac{32 \times 100 \times 6}{2}$	$\frac{19 \times 80 \times 2,6}{2}$
4	26	2353	0,61	$\frac{100}{1}$	$\frac{40 \times 150 \times 6}{2}$	$\frac{19 \times 116 \times 5,1}{2}$	$\frac{19 \times 75 \times 2,4}{2}$	$\frac{50 \times 100 \times 6}{3}$	$\frac{32 \times 100 \times 6}{2}$	$\frac{19 \times 80 \times 2,6}{2}$

Общий объемный выход пиломатериалов составит 2,18 тыс.м<sup>3</sup>, в том числе спецификационных пиломатериалов – 1,73 тыс.м<sup>3</sup>.

Обозначения, принятые в таблице 5: **D** – вершинный диаметр бревна, для которого составлен постав, см; **n** – число бревен, раскраиваемых поставом, шт; **Q<sub>вых</sub>** – объемный выход пиломатериалов.

План раскроя пиловочного сырья при оптимизационном критерии «максимум объемной выработки спецификационных пиломатериалов при заданных минимальных объемах выпуска этих пиломатериалов (табл.7)» будет отличаться от плана раскроя, представленного в таблице 5 следующим образом. Раскрой бревен диаметром 22 и 24 см не изменится. Раскрой бревен диаметром 20 см поставом №1 (табл.5) уменьшится с 3465 шт. до 1454 шт. Но к плану раскроя добавятся еще два поставы (№5, №6 табл.6). Раскрой бревен диаметром 26 см поставом № 4 (табл.5) уменьшится с 2353 шт. до 394 шт. К плану добавится один постав (№7, табл.6).

Таблица 6 – Дополнительные схемы раскроя

№	D	n	Q <sub>вых</sub>	первый проход			второй проход			
5	20	249	0,58	$\frac{150}{1}$	$\frac{19 \times 90 \times 4,4}{2}$		$\frac{32 \times 150 \times 6}{2}$	$\frac{40 \times 100 \times 6}{2}$	$\frac{19 \times 80 \times 3,9}{2}$	
6	20	1762	0,57	$\frac{150}{1}$	$\frac{19 \times 90 \times 4,4}{2}$		$\frac{50 \times 150 \times 6}{1}$	$\frac{50 \times 100 \times 6}{2}$	$\frac{19 \times 80 \times 3,6}{2}$	
7	26	1959	0,61	$\frac{100}{1}$	$\frac{40 \times 150 \times 6}{2}$	$\frac{19 \times 116 \times 5,1}{2}$	$\frac{19 \times 75 \times 2,4}{2}$	$\frac{50 \times 100 \times 6}{2}$	$\frac{40 \times 100 \times 6}{4}$	$\frac{19 \times 80 \times 3}{2}$

Таблица 7 – Планируемый и фактический выход объемов пиломатериалов

	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>5</sub>	W <sub>6</sub>
план, м <sup>3</sup>	200	500	200	200	200	300
факт, м <sup>3</sup>	208,4	596,7	200	200	200	304,9

Общий объемный выход пиломатериалов составит 2,17 тыс.м<sup>3</sup>, в том числе спецификационных пиломатериалов – 1,71 тыс.м<sup>3</sup>. Планируемый и фактический выход объемов пиломатериалов представлен в таблице 7. Согласно данным таблицы, реализация планируемой пилопродукции будет выполнена по всем спецификационным пиломатериалам, с некоторым перевыполнением  $W_2 = 596,7 \text{ м}^3$  (40x150x6).

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прешкин Г.А. Исследование и оптимизация раскряжевки хлыстов на ограниченное число сортиментов: Автореф. ... канд. техн. наук. – М., 1979. – 19с.
2. Прешкин Г.А. Выход сортиментов при целевой поштучной раскряжевке хлыстов. «Лесной журнал» №6-1977, с.134-138.
3. Солдатов А.В., Коркин Е.С. Методика расчета выхода объема круглых лесоматериалов при раскряжевке березовых и осиновых хлыстов. Леса Урала и хозяйство в них.– Екатеринбург: УГЛТУ, 2006.– вып. 27.– С. 309-314.
4. Редькин А.К. Основы моделирования и оптимизации процессов лесозаготовок: Учебник для вузов. М.: Лесная промышленность, 1988. – 256 с.
5. Ковалев Р.Н., Коркин Е.С., Солдатов А.В. Расчет схем раскряжки при продольной распиловке бревен. Брянск, 2006. [http://www.science-bsea.narod.ru/les\\_2006/kovalev\\_raschet.htm](http://www.science-bsea.narod.ru/les_2006/kovalev_raschet.htm)
6. Шапиро Д.Ф. Лесопильно-строительное производство. М., 1935, 507с.

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОКОРКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ**

**Побединский В.В., Берстенёв А.В., Шуняев С.Н.**  
(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [nto@krovtrede.ru](mailto:nto@krovtrede.ru)

Одним из наиболее эффективных путей совершенствования роторных окорочных станков (РОС) является использование системы автоматического управления (САУ) гидроприводом механизма прижима режущего инструмента (РИ). При этом возникает ряд исследовательских задач, которые ранее не рассматривались. В ходе прогресса развитие элементной базы гидропривода и микропроцессорной техники позволило решить первоочередную задачу - разработку структурной схемы САУ РИ [1], на основе которой создается в дальнейшем конструктивное решение. Для этих целей схемная реализация САУ предусматривает синтез параметров системы с помощью передаточной функции и использования спектральных характеристик динамических воздействий на механизм резания со стороны микропрофиля поверхности обрабатываемого лесоматериала.

Получить такие данные экспериментально чрезвычайно сложно, а тем более для всего породного и сортиментного состава будет практически невозможно, поэтому единственным выходом в этой ситуации является использование метода математического моделирования.

При обработке лесоматериалов динамические нагрузки, действующие на режущий механизм, обуславливаются пороками древесины (кривизна, сучки, овальность и т. д.). Для исследования САУ РИ и оценки некоторых параметров динамических нагрузок необходима автокорреляционная функция, описывающая микропрофиль поверхности древесины.

Процесс обработки лесоматериала в РОС складывается из двух движений:

- главного движения - вращательного движения ротора с инструментами вокруг бревна;
- вспомогательного движения подачи - поступательного, вдоль оси лесоматериала.

Данные о статистических характеристиках микропрофиля поверхности вдоль указанных направлений имеются, и поверхность лесоматериала описывается вероятностными методами. Однако в процессе обработки инструмент движется по винтовой линии на поверхности лесоматериала, наклон которой зависит от скорости вращения ротора, скорости подачи и диаметра бревна. Определить микропрофиль строго той поверхности, по которой движется инструмент, в этом случае не представляется возможным.

Такой процесс описан имитационной моделью [2], которая позволяет статистически оценить поверхность лесоматериала, но установить функциональную зависимость динамических нагрузок от влияния различных микронеровностей, и тем более их совместного действия, чрезвычайно сложно. Поэтому необходимые для проектирования станков данные определяются на основании экспериментальных исследований [3], но и в этом случае получают только некоторые параметры процесса динамических нагрузок, а функциональные зависимости между характеристиками древесины, режимами и случайным процессом нагрузок не определяются. Основная причина здесь в том, что имеется большое количество неопределенностей, при которых имитационное моделирование будет недостаточно обосновано.

В начале развития ЭВМ появилось целое направление в моделировании. Были разработаны соответствующие алгоритмы, методы, теоретические подходы, но их внедрение ограничивалось возможностями первых ЭВМ. В настоящее время произошел качественный прорыв в развитии информационных технологий, что потребовало развития теоретической области и разработки, соответственно, адекватных подходов к созданию математического обеспечения в прикладных отраслях науки и техники.

Одним из таких направлений, которое с момента возникновения получает все более широкое применение, является математический аппарат теории нечетких множеств (ТНМ).

В области моделирования с использованием нечеткой логики связан новый этап развития. Так, начиная с 60-70 годов имитационное моделирование, игровые методы позволяли решать многие задачи для объектов с вероятностными параметрами или условий неопределенности. Но при этом ограничивалась подробность описания объектов, чтобы при невысоких ресурсах вычислительной техники обеспечить достаточный уровень точности. Прогресс в этой области привел к тому, что в настоящее время уровень детализации часто ограничивается не параметрами компьютера или математического аппарата, а возможностями разработчика.

Нечеткое моделирование оказывается особенно эффективным, когда процессы являются слишком сложными для анализа с помощью общепринятых количественных методов, или когда исходные данные интерпретируются неточно или неопределенно.

Практикой доказано, что во многих случаях нечеткое моделирование позволяет более адекватно описывать объекты с неопределенностью и дает лучшие результаты, чем получаемые на основе детерминированных или вероятностно-статистических моделей [4,5,6].

ТНМ применяется для описания значений, которые принимает лингвистическая переменная на основе нечетких высказываний, где функция принадлежности элемента множеству не бинарна (да/нет), а может принимать любое значение в диапазоне от нуля до единицы. Это дает возможность формализовать понятия, нечеткие по самой своей природе "хороший", "высокий", "слабый" и т.д. и выполнять над такими величинами весь спектр логических операций - объединение, пересечение, отрицание и др.

Одним из важнейших достоинств ТНМ является возможность использования нечетких множеств (НМ) при моделировании задач, в которых отсутствует полная информация о рассматриваемой системе. При этом НМ рассматриваются как вероятностные распределения и ТНМ должна использоваться с теорией вероятности. При таком совместном использовании различных по сути методов исследования и достигаются наиболее достоверные результаты [4,5].

В данном случае, когда оценка параметров объекта, развитие процесса носит неопределенный характер, наиболее правильным будет использование концепции нечеткого моделирования системы.

Рассмотрим с точки зрения ТНМ исследуемый процесс.

Для оценки динамических параметров действующих на механизм резания служит ключевое событие в процессе обработки – встреча лезвия короснимателя с неровностью на поверхности лесоматериала (сучки, пороки древесины). Значение ударной нагрузки можно интерпретировать как лингвистическую переменную. Область определения переменной на практике определяется экспериментальным путем.

На вход модели поступают данные, соответствующие характеристикам реального процесса. Система нечеткого вывода предназначена для преобразования входных данных в выходные на основе использования правил нечеткой продукции (ПНП), поэтому содержит базу ПНП, предназначенную для нечеткого вывода на основе неких правил. Такие правила представлены в форме лингвистических высказываний (ЛВ), которые реализованы на основе нечетких условий или высказываний.

Процесс нечеткого вывода включает следующие этапы:

- 1 Формирование базы правил системы нечеткого вывода;
- 2 Фаззификация входных данных;
- 3 Формирование аппарата нечетких рассуждений;
  - 3.1 Агрегирование подусловий в нечетких правилах;
  - 3.2 Активизация или композиция подзаклучений в ПНП;
  - 3.3 Аккумуляция заключений нечетких правил продукции;
- 4 Дефаззификация выходных данных.

С позиций ТНМ в этой ситуации мы имеем «чёткие» данные о каждой отдельной характеристике - в продольном направлении и по окружности бревна. Простое математическое сложение характеристик микропрофиля вдоль и по окружности не будет

соответствовать микропрофилю поверхности по винтовой линии. Если теперь на основании характеристик микропрофиля в известных направлениях построить лингвистические высказывания, то с помощью аппарата ТНМ можно получить «чёткий» вывод картины динамических нагрузок в рамках решения задачи нечёткого вывода. Точность решения задачи НВ достигается посредством увеличения числа различных вариантов лингвистических высказываний (базы правил).

Графическая интерпретация модели возникновения динамических нагрузок на основе нечетких множеств показана на рисунке 1.

На схеме динамические воздействия на РИ представляют лингвистическую переменную  $P$ , которая определяется следующими параметрами:

$$P = [X, x, \mathcal{A}, C, СП],$$

где  $X$  - область определения переменной (универсум);

$x$  - значение переменной;

$\mathcal{A}$  - нечеткое множество на области определения  $X$ ;

$C$  - синтаксическое правило для определения лингвистического значения нечеткого множества  $\mathcal{A}$ ;

$СП$  - семантическое правило для связи лингвистического значения множества с соответствующим множеством  $\mathcal{A}$ .

На нижнем графике изображена градация для синтаксического правила  $C$  определения лингвистического значения нечеткого множества  $\mathcal{A}$ . Значение функции принадлежности нечеткому множеству  $\mathcal{A}$  задается в интервале  $[0,1]$ .

Базу правил составляет система нечетких высказываний различного вида, например:

- «Если макронеровность бревна БОЛЬШАЯ, а высота сучка МАЛЕНЬКАЯ, то динамическая нагрузка СРЕДНЯЯ»;
- «Если макронеровность бревна БОЛЬШАЯ, а высота сучка СРЕДНЯЯ, то динамическая нагрузка БОЛЬШАЯ»;
- «Если макронеровность бревна БОЛЬШАЯ, и высота сучка БОЛЬШАЯ, то динамическая нагрузка ОЧЕНЬ БОЛЬШАЯ».

Количественные значения параметров принимаются на основе ряда экспериментальных исследований.

В рассматриваемой задаче для детального учета особенностей процесса таких высказываний построено значительно больше, и точность результатов достигается увеличением количества высказываний, описывающих процесс с различных позиций. С увеличением точности ЛВ, нечеткая логика приходит к стандартной, Булевой, что является подтверждением правильности подхода и адекватности разработанной модели.

На этапе фаззификации выполняется приведение известных количественных выражений или высказываний экспертов выраженных на естественном языке к нечеткому виду. Например, если пороки лесоматериала вызывающие динамические нагрузки распределяются следующим образом:

- количество сучков высотой от 1 до 3 см составляет не менее 70 %, но у различных пород эта величина имеет значение от 50 % до 60%;
- количество сучков высотой до 1 см около 15-18 %;
- количество сучков выше 3 см менее 12-15 %, то приведение к нечеткости графически может быть выполнено, как показано на рисунке 2.

Дальнейшие процедуры формализации направлены на получение так называемых нечетких множеств, определяющих его параметры.

Базовую архитектуру семантического правила составляют компоненты теории - агрегирование, активизация, аккумулярование, дефазификация.

Из системы нечетких высказываний формируется база правил нечетких продукций. Далее, для получения нечеткого вывода выполняется этапы агрегирования и активизации. Первое представляет определение по каждому правилу степени истинности условий, а второе степень истинности подзаключений.

Для нахождения функции принадлежности выходной лингвистической переменной из всех степеней истинности подзаключений применяется процедура аккумулярования (объединения).

Перед процедурой аккумулярования предполагаются известными значения истинности всех подзаключений для каждого из правил базы правил системы нечеткого вывода в форме совокупности. Например, для лингвистической переменной «ДИНАМИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА» определены нечеткие множества  $\mathcal{A}$  {НИЗКАЯ},  $\mathcal{B}$  {СРЕДНЯЯ},  $\mathcal{C}$  {ВЫСОКАЯ} (рисунок 3). Результатом аккумуляции (рисунок 4) выходной лингвистической переменной будет логическое объединение, т.е.

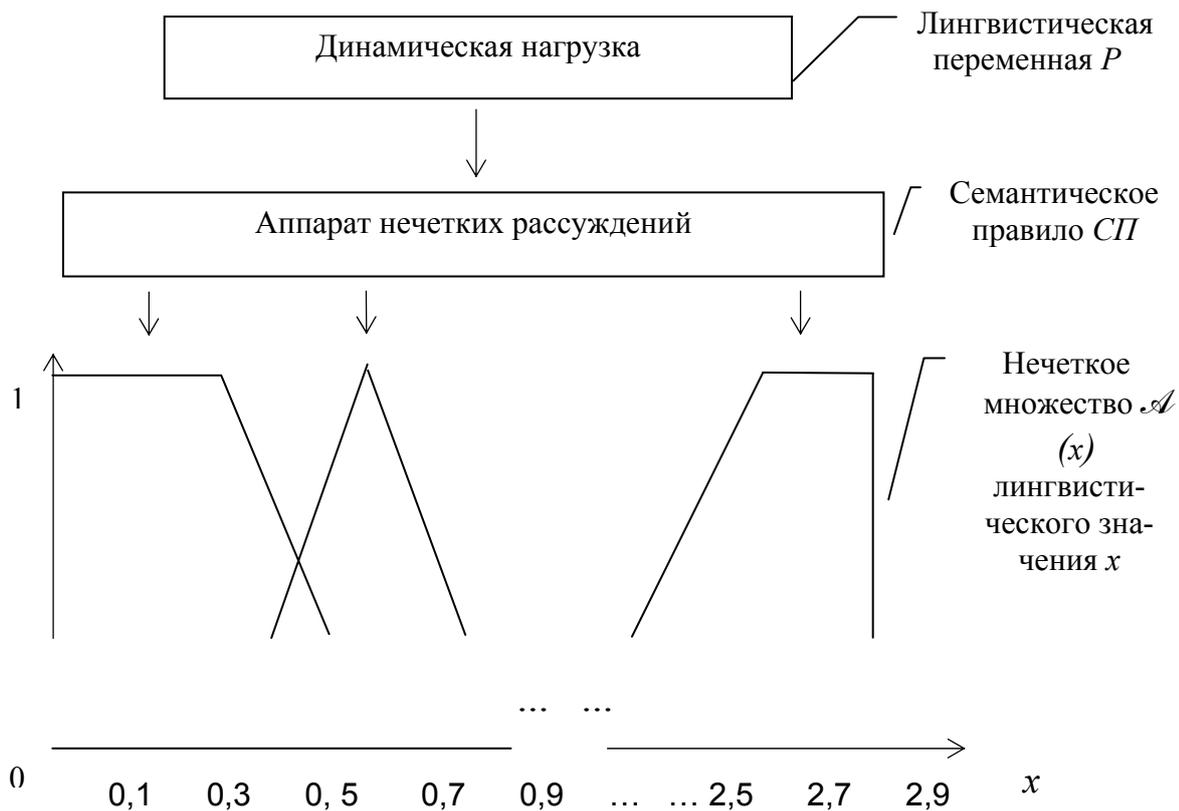
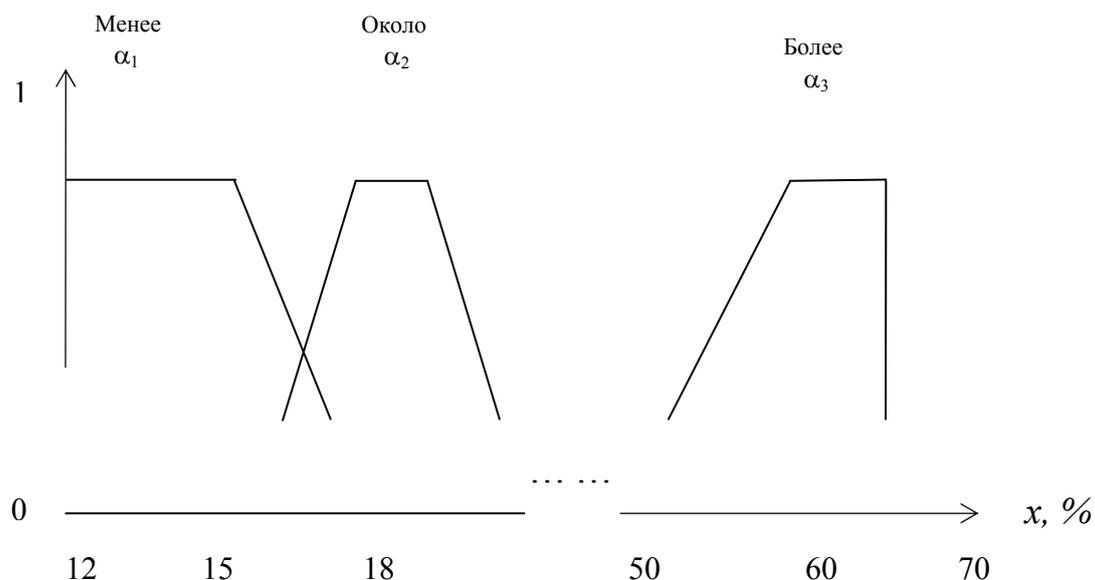


Рисунок 1 – Алгоритм нечеткого вывода при моделировании динамических воздействий



$\alpha_1$  - «ВЫСОТА СУЧКОВ ДО 1 СМ»;  $\alpha_2$  - «ВЫСОТА СУЧКОВ СВЫШЕ 3 СМ»,  $\alpha_3$  - «ВЫСОТА СУЧКОВ ОТ 1 ДО 3 СМ».

Рисунок 2 – Графики функций принадлежности НМ «Высота сучков», соответствующих лингвистическим переменным  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ .

нечеткое множество  $\mathcal{D} = \mathcal{A} \cup \mathcal{B} \cup \mathcal{C}$  (знак “ $\cup$ ” является синонимом “ $\vee$ ” логической операции ИЛИ).

Для случайных воздействий (распределения пороков на поверхности лесоматериала) используется метод имитационного моделирования, если для них имеются вероятностные параметры. В противном случае такие воздействия описываются введением нечеткости.

Разработанный на основе ТНМ алгоритм реализован в среде Delphi, где выполняется имитационное моделирование параметров лесоматериала, для организации нечеткого вывода в виде нейролингвистической сети ядро программы интегрировано с пакетом MatLab, в котором предусмотрены стандартные средства работы с НМ. Сопоставление амплитудных и спектральных характеристик динамических нагрузок, полученных при моделировании (рисунок 5) с результатами натуральных экспериментов [3], показали достаточную адекватность математической модели реальному процессу окорки лесоматериалов.

### Заключение

1 Применение теории нечетких множеств открывает новые возможности в совершенствовании конструкций режущего инструмента РОС с возможностью исследования систем автоматического управления.

2 Для наиболее достоверного математического описания процесса динамических нагрузок на режущий инструмент при обработке лесоматериалов следует совместно использовать вероятностные методы и теорию нечетких множеств.

3 При совместном использовании различных методов будет рациональнее организация структуры в среде объектно-ориентированного языка, например, Delphi, а для вычислений процедур нечеткого вывода обеспечить связь с приложением пакета MatLab. Реализация предложенного алгоритма в среде Delphi интегрированного с пакетом

MatLab в виде нейролингвистической сети позволяет достаточно адекватно описать процесс динамических нагрузок в конструкции.

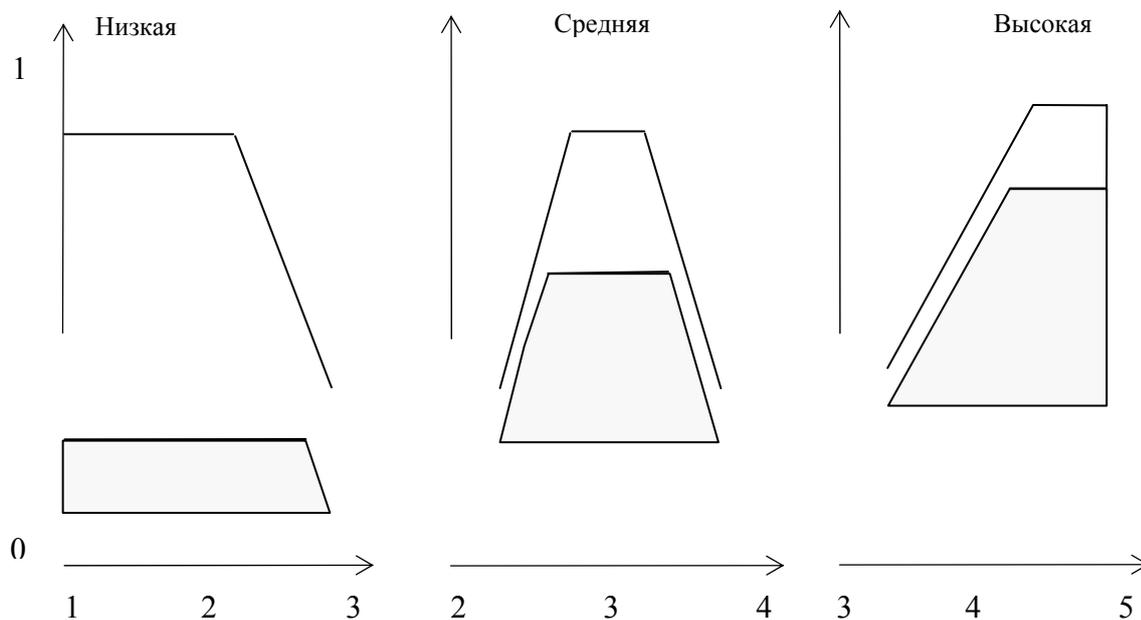


Рисунок 3 – Графики функций принадлежности НМ «ДИНАМИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА»

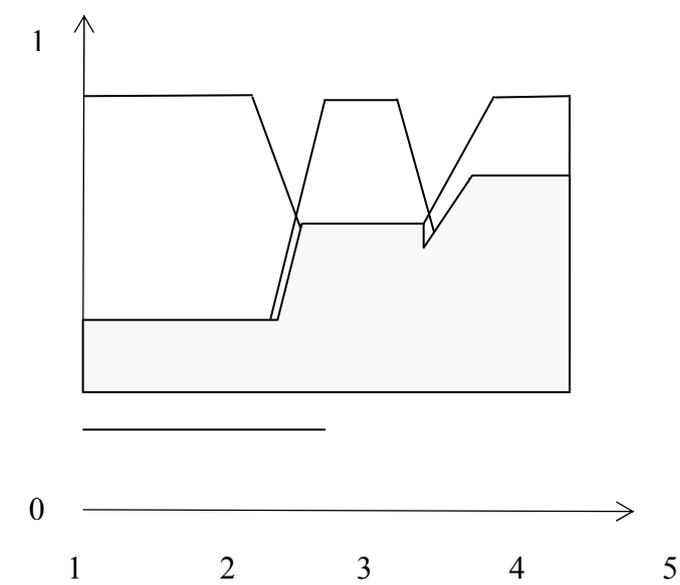


Рисунок 4 – График процедуры аккумуляции

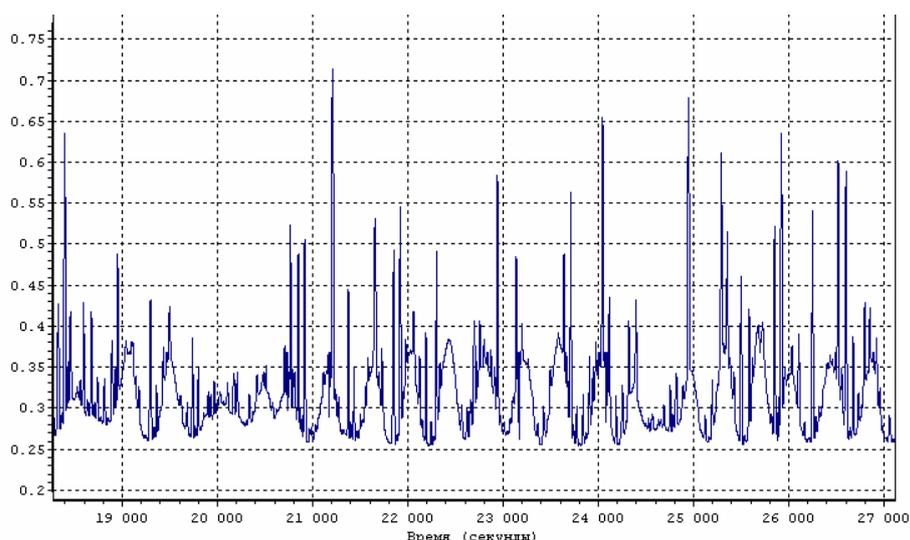


Рисунок 5 – Процесс динамических нагрузок на РИ, полученный решением задачи нечёткого вывода

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Берстенёв А.В., Побединский В.В., Санников С.П. Система автоматического управления рабочими органами роторного окорочного станка. – Сборник докладов второй научно-техн. конф. молодых специалистов. – Екатеринбург: УГЛТУ, 19 апреля 2006 г.

2 Побединский В.В. и др. Имитационная модель процесса окорки лесоматериалов на роторных окорочных станках. – В кн.: Вклад ученых и специалистов в развитие химико-лесного комплекса. / Тез. докл. к Обл. научно-техн. конф. – Свердловск, УЛТИ, 1-3 февраля 1989 г.

3 Побединский В.В. и др. Методика экспериментальных исследований роторных окорочных станков в производственных условиях. – В кн.: Вклад ученых и специалистов в развитие химико-лесного комплекса. / Тез. докл. к Обл. научно-техн. конф. – Свердловск, УЛТИ, 1-3 февраля 1989 г.

4 Юфин С.А., Семенюк-Ситников В.В. Применение нечетких экспертных систем в геотехническом строительстве. «Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века», №1,2, 2005 г.

5 Берстенеv А.В., Побединский В.В., Шуняев С.Н. Применение алгоритмов нечеткого вывода в моделировании объектов с нестрогими определенными параметрами. – В кн.: Ракетно-космическая техника. Научно-техн. сб. Системы управления ракетных комплексов. III науч.-техн. конф. молодых специалистов НПОА: -Екатеринбург: Федер. аг. ФГУП НПО «Автоматика» им. Академика Н.А.Семихатова, 9-11 апреля 2006 г.

6 Бекузаров И., Дедегкаев А.Г. Нечётко-логические модели и алгоритмы. – Владикавказ: Северо-Кавказский государственный технологический университет, Факультет электронной техники, кафедра промышленной электроники. 2001г.

## НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ДЕРЕВООБРАБОТКЕ

Новоселов В.Г. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [vgnov@usfeu.ru](mailto:vgnov@usfeu.ru)

### REALIBILITY OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS IN WOODWORKING

В соответствии с положениями ГОСТ [1] технологическая система в деревообработке понимается как совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения (СТО), предметов производства (ПП) и исполнителей (И) для выполнения в регламентированных условиях производства (РУП) заданных технологических процессов или операций (рис.1).

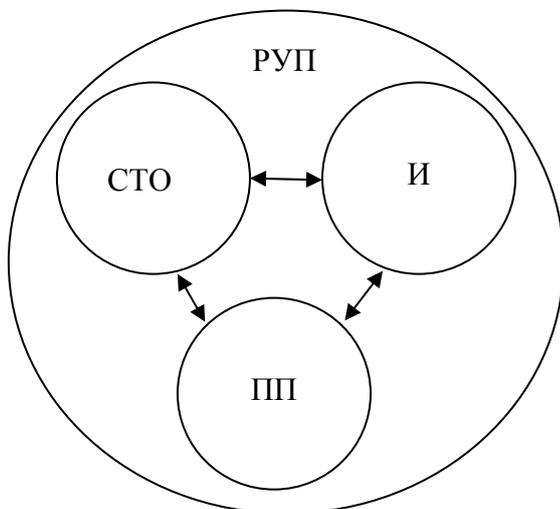


Рисунок 1 – Структура технологической системы

К предметам производства относятся: материал, заготовка, полуфабрикат и изделие, находящиеся в соответствии с выполняемым технологическим процессом в стадии хранения, транспортирования, формообразования, обработки, сборки, ремонта, контроля и испытаний.

Исполнитель это – человек, осуществляющий в технологической системе трудовую деятельность по непосредственному изменению и (или) определению состояния предметов производства, техническому обслуживанию или ремонту средств технологического оснащения.

К регламентированным условиям производства относятся: регулярность поступления предметов производства, параметры энергоснабжения, параметры окружающей среды и др.

Понятие средств технологического оснащения ГОСТ не регламентирует. Очевидно, под ними следует понимать оборудование, машины, механизмы, приборы, приспособления, инструменты, используемые в технологическом процессе или операции.

Структура технологической системы рассматривается в соотношении с конкретными иерархическими уровнями: технологические системы операций, процессов, производств, предприятий. В иерархической технологической системе предприятия элементами приняты технологические подсистемы производств. В них – технологические системы процессов. Нижнему, элементарному уровню подсистем сопоставлена технологическая система операции.

Технологические системы объединяются в зависимости от порядка выполнения операций и процессов в последовательные, параллельные или комбинированные цепи. Связи между подсистемами осуществляются посредством одного из элементов технологической системы - предмета производства, перемещаемого с одного рабочего места на другое при помощи транспортирующих средств (ТС), а также общих для данной системы регламентированных условий производства (рис.2).

Работоспособным является состояние технологической системы, при котором значение хотя бы одного параметра и (или) показателя качества изготавливаемой продукции, производительности, материальных и стоимостных затрат на изготовление продукции соответствуют требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации. В случае любого отклонения от

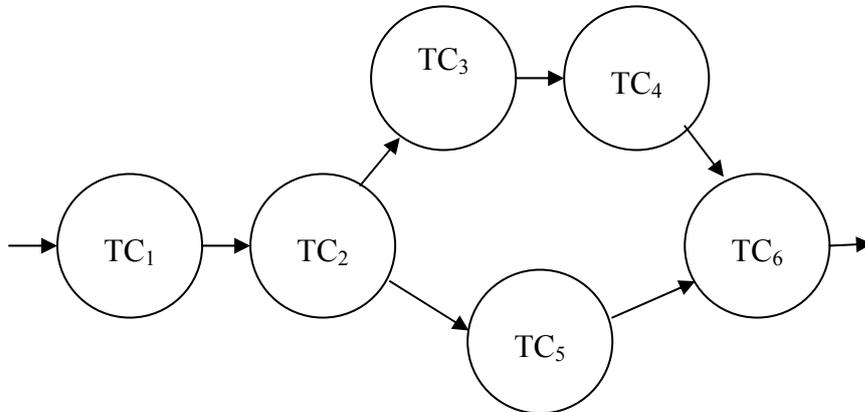


Рисунок 2 – Структура комбинированной технологической системы

этих требований означает переход в неработоспособное состояние, а само событие является отказом.

Одним из основных показателей надежности технологической системы является вероятность безотказной работы – вероятность того, что в пределах заданной наработки не произойдет отказа технологической системы по параметрам изготавливаемой продукции (параметрам производительности, затратам).

Для комбинированной технологической системы вероятность безотказной работы  $P(t)$  определится после разбиения ее на последовательные и параллельные участки

$$P(t) = \prod_{i=1}^k [P_i(t)] \{1 - \prod_{i=k+1}^l [1 - P_i(t)]\},$$

где  $P_i(t)$  – вероятность безотказной работы элемента (подсистемы) технологической системы;  $i=1 \dots k$  – элементы последовательных участков технологической системы;  $i=k+1 \dots l$  – элементы параллельных участков технологической системы.

Вероятность безотказной работы элементарной подсистемы - технологической системы операции определяется зависимостью

$$P_i(t) = P_{1i}(t)P_{2i}(t)P_{3i}(t),$$

где  $P_{1i}(t)$  – вероятность безотказной работы средств технологического оснащения операции;  $P_{2i}(t)$  – вероятность соответствия предмета производства установленным требованиям;  $P_{3i}(t)$  – вероятность безошибочной работы исполнителя.

Вероятность безотказной работы средств технологического оснащения описывается различными законами распределения в зависимости от вида возникающих повреждений: износ, усталость, коррозия или старение. В общем случае она может быть выражена законом Вейбулла

$$P_{1i}(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b},$$

где  $a$  – параметр масштаба,  $b$  – параметр формы, варьирование которым позволяет описывать различные виды распределений. Вопросы безотказности средств технологического оснащения - машин и оборудования лесного комплекса - подробно рассмотрены в [2].

Стабильное соответствие предмета производства установленным требованиям к размерно-качественным характеристикам сырья и полуфабрикатов обеспечивается надлежащей сортировкой и входным контролем. Его вероятность определяется относительно стабильной интенсивностью отклонений от заданных требований  $\lambda_{2i}$  как для экспоненциального закона распределения

$$P_{2i}(t) = 1 - e^{-\lambda_{2i}t}.$$

Безошибочная работа исполнителя (человека-оператора) в технологической системе характеризуется функцией его надежности в непрерывной временной области [3] сменяющейся в зависимости от напряженности и продолжительности труда интенсивностью появления ошибок  $\lambda_{3i}(t)$ . Ее вероятность определяется по формуле

$$P_{3i}(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda_{3i}(t) dt}.$$

Отказы технологических систем по характеру нарушения работоспособности подразделяются на функциональные и параметрические. Функциональным является отказ, в результате которого наступает прекращение ее функционирования, не предусмотренное регламентированными условиями производства или в конструкторской документации, например, вследствие поломки инструмента. Признаком функционального отказа являются также факты превышения сроков запланированных перерывов в работе: регламентированного времени смены инструмента, установки заготовки, заданных перерывов на отдых персонала и т.д. Отказ технологической системы, в результате которого сохраняется ее функционирование, но происходит выход одного или нескольких параметров за пределы установленные в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации. В зависимости от того, какие параметры нарушены, различают отказы и, соответственно, наступившие неработоспособные состояния: по производительности; по параметрам продукции; по затратам.

Таким образом, с точки зрения проявления отказов вероятность безотказной работы технологической системы может быть определена как вероятность совмещения событий безотказности по всем критериям

$$P(t) = P_{\phi}(t)P_{\Pi}(t)P_K(t)P_3(t),$$

где  $P_{\phi}(t)$ ,  $P_{\Pi}(t)$ ,  $P_K(t)$ ,  $P_3(t)$  – соответственно вероятность безотказной работы по критериям: функционирования, производительности, качества изготавливаемой продукции и затрат на изготовление.

Вероятность безотказной работы технологической системы по функциональным отказам определяется коэффициентами безопасности (запасов прочности)  $n(t)$ , характеризующими способность ее элементов сопротивляться повреждающему воздействию факторов технологического процесса, из условия

$$P_{\phi}(t) = P\{n(t) \geq 1\}.$$

Эти отказы для деревообрабатывающего оборудования достаточно изучены и описаны, например [2].

Критериями отказов технологических систем операций и процессов по производительности по ГОСТ 27.204-83 [4] являются: прекращение функционирования на время, превышающее допустимое (функциональный отказ -  $P_{\phi}(t)$ ) или снижение произво-

дительности ниже уровня, установленного в нормативно-технической или конструкторско-технологической документации (параметрический отказ –  $P_{II}(t)$ )

Вероятность безотказной работы технологической системы по параметрам снижения производительности ниже установленного уровня может оцениваться по критерию соответствующей скорости подачи заготовки в станок из условия

$$P_{II}(t) = P\{U(t) \geq U_{\min}\},$$

где  $U(t)$ ,  $U_{\min}$  – конкретная реализация скорости подачи и ее минимально допустимое по производительности значение.

Надежность технологической системы по параметрам качества изготавливаемой продукции в соответствии с ГОСТ 27.202-83 [5] оценивается показателем «точность». Вероятность безотказной работы по нему

$$P_T(t) = P\{x_{\min} \leq x(t) \leq x_{\max}\},$$

где  $x(t)$ ,  $x_{\min}$ ,  $x_{\max}$  – фактическое, минимальное и максимальное предельное значения исполняемого размера детали.

Другие количественные критерии, характеризующие непосредственно саму продукцию, ГОСТом не конкретизированы. Нами дополнительно использован важнейший критерий качества, широко применяемый в деревообработке, – «шероховатость обработанной поверхности». Вероятность безотказной работы по нему

$$P_{III}(t) = P\{R_Z(t) \leq R_{\max}\},$$

где  $R_Z(t)$ ,  $R_{Z\max}$  – фактическое и максимально допустимое значение параметра шероховатости.

Таким образом, вероятность безотказной работы технологической системы по параметрам качества может быть выражена

$$P_K(t) = P_T(t)P_{III}(t).$$

Принимая нормальный закон распределения наработки до отказа по каждому из принятых критериев

$$P(t) = 1 - \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-T_1)^2}{2\sigma_t^2}} dt,$$

где  $T_1$  – средняя наработка до отказа;  $\sigma_t$  – ее среднеквадратическое отклонение.

В статьях [6,7] разработаны методы расчета средней наработки до отказа по принятым показателям качества продукции, основанные на детерминированных зависимостях положений теории резания профессора А.Л. Бершадского, и работ по исследованию износостойкости инструмента А.В.Моисеева, изложенным в [8]. Они описывают зависимости «дрейфа» центров распределений параметров, характеризующих принятые критерии, и позволяющие определить средние наработки до отказов и их дисперсии.

По параметру точность средняя наработка до отказа составит

$$T_1 \approx \frac{16,7\bar{d}}{\gamma_{\Delta} n l_k (e - \varepsilon_0)},$$

где  $d$  – допускаемое смещение центра распределения фактических размеров обработанной детали от начальной размерной настройки;  $\gamma_{\Delta}$  – интенсивность изнашивания лезвия

инструмента;  $n$  – частота вращения инструмента;  $l_k$  – длина дуги контакта лезвия инструмента с заготовкой;  $\varepsilon_o$  – относительная остаточная деформация древесины под поверхностью резания;  $e$  – вспомогательная величина

$$e = \frac{\sin(\alpha + \beta/2)}{\sin(\beta/2)},$$

где  $\alpha$  – задний угол лезвия;  $\beta$  – угол заострения.

По параметру «шероховатость поверхности»

$$T_1 \approx \frac{16,7}{k \bar{\gamma}_\Delta \bar{n} \sqrt{\Pi D_p}} \ln \frac{\bar{R}_{Z_{\max}}}{\bar{R}_{Z_o}}.$$

где  $k$  – показатель экспоненты описывающей, изменение шероховатости поверхности обработки в зависимости от износа инструмента;  $\Pi$  – припуск на обработку;  $D_p$  – диаметр окружности резания;  $R_{Z_o}$ ,  $R_{Z_{\max}}$  – шероховатость при обработке соответственно острым и затупленным инструментом.

Технические требования к методам оценки надежности технологических систем по затратам на изготовление продукции не стандартизованы. Нами использован критерий расхода мощности на обработку древесины  $N(t)$ , которая не должна превышать максимальной установленной мощности  $N_{\max}$  двигателя привода соответствующего механизма (резания или подачи). Вероятность безотказной работы по этому критерию

$$P_3(t) = P\{N(t) \leq N_{\max}\}.$$

По мощности привода механизма резания средняя наработка до отказа составит

$$T_1 \approx \frac{83,3 \bar{\rho}_o}{\bar{\gamma}_\Delta \bar{n} \sqrt{\Pi D_p} \bar{K}_n \bar{K}_u \bar{p}} \left( \frac{\bar{N}_o \bar{\eta}}{\bar{b} \bar{a}_n \bar{a}_w} - \bar{K} \bar{S}_{zp} \sqrt{\Pi / D_p} - \bar{p} \right),$$

где  $K_n$  – коэффициент производительности станка;  $K_u$  – коэффициент использования станка;  $b$  – ширина поверхности резания, мм;  $a_n$  и  $a_w$  поправочные коэффициенты на породу и влажность древесины;  $p$  – фиктивная сила резания;  $K$  – касательное давление стружки на переднюю грань зуба;  $N_o$  – мощность двигателя;  $\eta$  – к.п.д. привода механизма резания.

Приведенные зависимости позволяют, используя эмпирическую информацию и физические методы расчета определять показатели надежности технологических систем на стадии проектирования процессов обработки и принимать обоснованные решения по ее повышению.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 27.004-85. Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения. [Текст]. Взамен ГОСТ 22954-78; введ. 1986-07-01. М.: Госстандарт России: изд-во стандартов, 2002. 9 с.
2. Амалицкий В.В. Надежность машин и оборудования лесного комплекса: Учебник для студентов специальности 170400 [Текст]/ В.В.Амалицкий, В.Г.Бондарь, А.М.Волобаев, А.С.Воякин. – М. : МГУЛ, 2002. 279 с.
3. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем : Пер. с англ. [Текст]/ Б.Диллон, Ч.Сингх. - М. : Мир, 1984. 318 с.

4. ГОСТ 27.204-83. Надежность в технике. Технологические системы. Технические требования к методам оценки надежности по параметрам производительности. [Текст]. Введ. 1985-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1984. 37 с.

5. ГОСТ 27.204-83. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции. [Текст]. Введ. 1984-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1984. 50 с.

6. Новоселов В.Г. Физический метод расчета надежности технологической системы деревообработки по параметру качества продукции «точность» [Текст]/В.Г.Новоселов, И.Т.Глебов // Надежность и качество: материалы международного симпозиума, Пенза, 25-31 мая 2006 г./ Пензенский гос. техн. ун-т. – Пенза, 2006. – С. 276-278

7. Новоселов В.Г. Расчет безотказности технологической системы деревообработки по параметру качества продукции «шероховатость поверхности [Текст]/ В.Г.Новоселов// Изв. Санкт-Петербургской гос. лесотехн. акад. – СПб, 2006. – Вып. 3. – С. 178-184.

8. Глебов И.Т. Справочник по резанию древесины [Текст]/ И.Т.Глебов, В.Г.Новоселов, Л.Г. Швамм - Урал. гос. лесотехн. акад. Екатеринбург, 1999. – 190 с.

## **УСТОЙЧИВОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ДЕРЕВООБРАБОТКЕ**

**Новоселов В.Г.** (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [vgnov@usfeu.ru](mailto:vgnov@usfeu.ru)

## **STABILITY OF FUNCTIONING OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS IN WOODWORKING**

Эффективность деревообрабатывающих производств определяется рядом параметров, характеризующих надежность и безопасность технологических систем для персонала и окружающей среды. На процессы обработки древесины оказывает влияние большое количество качественно разнообразных факторов. В регламентированных условиях производства реализации тех или иных значений факторов носят случайный характер, происходит временной дрейф их центров распределений и дисперсий.

При некоторых сочетаниях значений факторов процесса, не выходящих за установленные пределы, наступает такое состояние технологической системы, при котором ее дальнейшее функционирование чревато выходом одного из характеризующих параметров их оценки за установленные пределы, то есть нарушением какого-либо из критериев надежности или безопасности. Это создает проблему устойчивости функционирования технологических систем. Она усугубляется в поточных многооперационных технологических процессах, с ростом уровня автоматизации, с расширением применения высоко энергонасыщенных и компьютеризированных средств технологического оснащения. В свою очередь неустойчивое функционирование технологических систем наносит экономический ущерб производству, снижает эффективность работы предприятий.

Современное состояние науки о технологии и технике деревообработки дает представление об отдельных аспектах оценки устойчивости функционирования техно-

логических систем: о надежности отдельных машин и оборудования, некоторых их комплексов и человеко-машинных систем [1], о производительности различных технологических процессов, о формировании качества изделий деревообработки, о величине затрат на их изготовление [2,3], о вредности и опасности производств [4,5]. Однако эти данные носят моноаспектный характер, не интегрированы общей идеей устойчивого функционирования технологических систем. Это затрудняет адекватную оценку эффективности принимаемых решений при проектировании производств, применении различных средств технологического оснащения. Неопределенность понятия и отсутствие критериального аппарата оценки устойчивости функционирования технологических систем с учетом взаимосвязи их элементов на различных иерархических уровнях тормозит дальнейшее развитие научного знания о путях совершенствования технологий и оборудования в деревообработке.

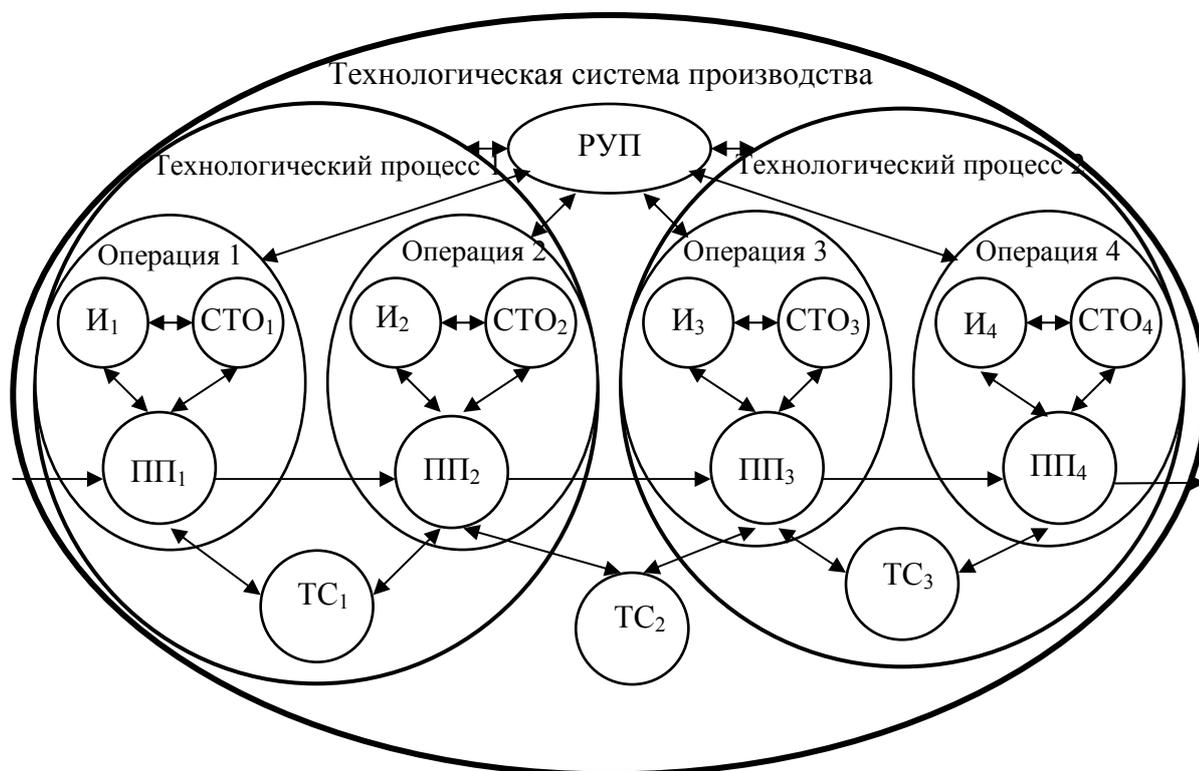


Рисунок 1 – Структурная схема иерархической технологической системы последовательного типа

В соответствии с положениями ГОСТ [6] технологическая система в деревообработке понимается как совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения (СТО), предметов производства (ПП) и исполнителей (И) для выполнения в регламентированных условиях производства (РУП) заданных технологических процессов или операций.

Структуру технологической системы рассмотрим в соотношении с конкретными иерархическими уровнями: технологические системы операций, процессов, производств, предприятий. Предложена структурная модель иерархической технологической системы производства (рис. 1), в которой элементами приняты технологические подсистемы процессов и операций, объединенные в последовательные и (или) параллель-

ные цепи. Нижнему, элементарному уровню сопоставлена технологическая система операции. Связи между подсистемами осуществляются посредством одного из элементов технологической системы, перемещаемого с одного рабочего места на другое при помощи транспортирующих средств (ТС), – предмета производства, а также общих для данной системы регламентированных условий производства.

Понятие устойчивости функционирования технологической системы определим как состояние, при котором в регламентированных условиях производства любое изменение факторов технологического процесса в допустимых пределах не приводит к выходу ни одного из показателей и параметров надежности, производственной и экологической вредности и опасности за пределы установленные в нормативно-технической, конструкторской и технологической документации.

Сформулируем критерий состояния неустойчивого функционирования технологической системы: достижение фактическими показателями и параметрами функционирования предельных значений, установленных в нормативно-технической, конструкторской и технологической документации.

Граф переходов технологической системы из устойчивого в неустойчивые состояния приведен на рисунке 2. Однозначно устойчивым будет являться исправное состояние (ИС), когда система соответствует

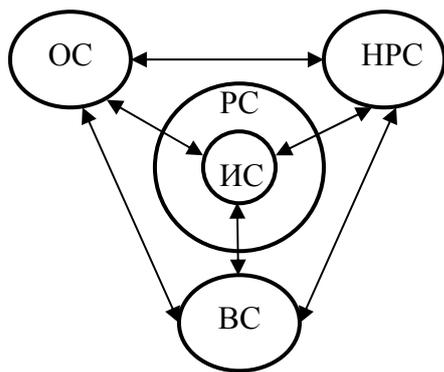


Рисунок 2 – Граф состояний технологической системы

всем требованиям нормативно-технической документации, и ее фактические параметры не достигают предельных значений. В работоспособном состоянии (РС) возможны отклонения параметров системы от нормативных, не влекущие недопустимого снижения производительности, качества продукции или увеличения затрат на ее изготовление. Однако ГОСТы на надежность технологических систем не оговаривают ограничения на работоспособность, связанные с требованиями по безвредности и безопасности их функционирования, поэтому

переход во вредное (ВС) или опасное (ОС) состояние возможен как из РС так и непосредственно из ИС. Возможны также переходы из РС в неработоспособное (НРС), но безопасное и безвредное состояние и, когда не была своевременно прекращена эксплуатация системы, утратившей работоспособность по параметрическим критериям, - переход из НРС в ВС или ОС.

Математическое описание состояния устойчивости функционирования можно представить в виде

$$Y_{\min} < Y[X(t), t] < Y_{\max}, \quad X_{\min} \leq X(t) \leq X_{\max},$$

где  $Y$  – вектор-столбец параметров функционирования технологической системы;  $X$  – вектор-строка факторов технологического процесса.

Технологическая система, устойчивость которой характеризуется широким набором параметров, является многомерным объектом. В настоящее время их принято интерпретировать ортогональными многомерными параллелепипедами, стороны которых представляют собой интервалы допустимых значений, что не является наглядным при числе параметров более трех.

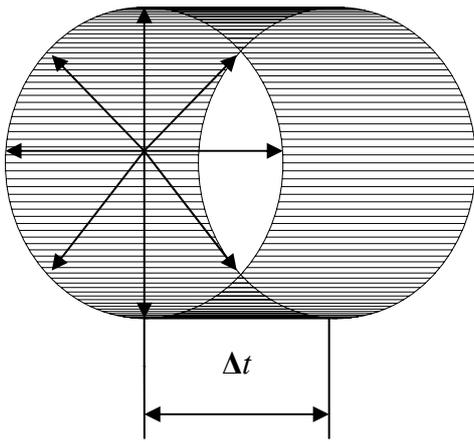


Рисунок 3 – Временной цилиндр состояний идеального неизменяемого объекта

(рис.3).

Состояние системы станет неустойчивым, если какие-либо характеризующие параметры, изменяясь во времени, достигнут своих предельных значений (рис.4), поскольку их дальнейшее изменение может привести к выходу за установленные пределы.

Вероятность устойчивого функционирования технологической системы представлена в виде

$$P(t) = \prod_{i=1}^k [P_i(t)] \{1 - \prod_{i=k+1}^l [1 - P_i(t)]\},$$

где  $P_i(t)$  – вероятность устойчивого функционирования элемента (подсистемы) технологической системы;  $i=1...k$  – элементы последовательных участков технологической системы;  $i=k+1...l$  – элементы параллельных участков технологической системы.

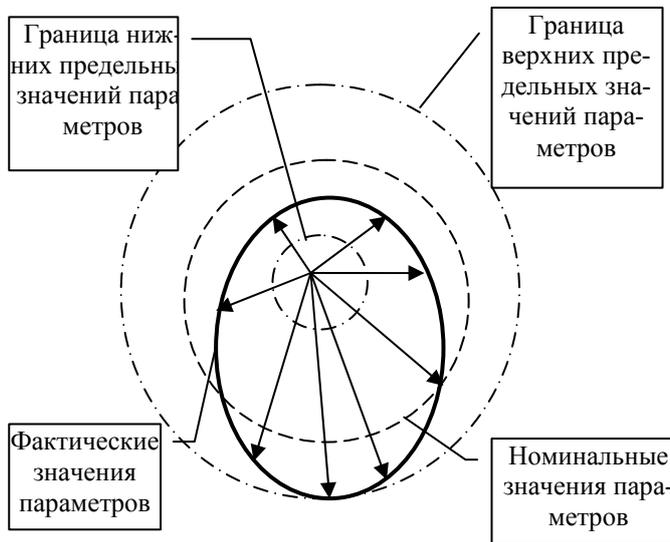


Рисунок 4 - Момент наступления неустойчивого состояния системы

Предложена графическая трехмерная интерпретация изменения во времени состояния технологической системы как многомерного объекта, развивающегося относительно обобщенной координаты – времени.

Вся совокупность параметров состояния отображается нормированными относительно их номиналов радиус-векторами постоянного направления, исходящими из одного центра, находящегося на оси времени в точке, соответствующей данному моменту. Огибающая концов векторов характеризует состояние системы в данный момент времени, развиваясь во времени, она образует псевдо-цилиндр изменения состояний

Вероятность устойчивого функционирования элементарной подсистемы - технологической системы операции определяется зависимостью

$$P_i(t) = P_{1i}(t)P_{2i}(t)P_{3i}(t),$$

где  $P_{1i}(t)$  – вероятность устойчивого функционирования средств технологического оснащения операции;  $P_{2i}(t)$  – вероятность устойчивого состояния предмета производства;  $P_{3i}(t)$  – вероятность устойчивой работы исполнителя.

Устойчивое состояние предмета производства означает

стабильное соответствие установленным требованиям к размерно-качественным характеристикам сырья и полуфабрикатов и обеспечивается надлежащей сортировкой и входным контролем. Его вероятность определяется относительно стабильной интенсивностью отклонений от заданных требований  $\lambda_{2i}$ . Его вероятность может быть опре-

делена как для экспоненциального закона распределения

$$P_{2i}(t) = 1 - e^{-\lambda_{2i}t}.$$

Устойчивая работа исполнителя (человека-оператора) в технологической системе характеризуется функцией его надежности в непрерывной временной области [7] с меняющейся в зависимости от напряженности и продолжительности труда интенсивностью появления ошибок  $\lambda_{3i}(t)$ . Ее вероятность определяется по формуле

$$P_{3i}(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda_{3i}(t) dt}.$$

Устойчивость функционирования средств технологического оснащения, исходя из принятых критериев, определяется безотказностью, безвредностью и безопасностью. Учитывая, что несоблюдение любого из этих требований ведет к нарушению устойчивости, получим

$$P_{1i}(t) = P_{1Bi}(t)P_{1Vi}(t)P_{1Oi}(t),$$

где  $P_{1Bi}(t)$ ,  $P_{1Vi}(t)$ ,  $P_{1Oi}(t)$  – вероятности соответственно безотказной, безвредной и безопасной работы средств технологического оснащения.

Для средств технологического оснащения, представляющих собой сложные объекты с разнообразным видами отказов, опасных и вредных состояний их элементов, определение вышеуказанных вероятностей производится на основе их структурного анализа и построения «деревьев» неисправностей и рисков для каждого конкретного случая.

Таким образом, предложено определение, даны математическое описание и наглядная графическая интерпретация устойчивости функционирования технологических систем, методология ее исследования и оценки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Амалицкий В.В. Надежность машин и оборудования лесного комплекса: Учебник для студентов специальности 170400 [Текст]/ В.В. Амалицкий, В.Г.Бондарь, А.М. Волобаев, А.С.Воякин. – М. : МГУЛ, 2002. 279 с.
2. Калитеевский Р.Е. Лесопиление в XXI веке. Технология. Оборудование. Менеджмент [Текст]/ . Р.Е. Калитеевский – СПб. : ПРОФИ-ИНФОРМ, 2005. 480 с.
3. Пижурин А.А. Основы моделирования и оптимизации процессов деревообработки: Учеб. Для вузов по спец. «Технология деревообработки» [Текст]/ А.А. Пижурин. – М. : Лесн. пром-сть, 1988. 293 с.
4. Санников А.А. Пути снижения колебаний лесопильного оборудования [Текст]/ А.А.Санников. М. : Лесн. пром-сть, 1980. 160 с.
5. Чижевский М.П. Снижение шума при механической обработке древесины [Текст]/ М.П.Чижевский, Н.Н.Черемных. – М.: Лесн. пром-сть, 1975. 152 с.
6. Новоселов В.Г. Об определении устойчивости и средстве интерпретации состояний систем на примере технологических/ В.Г.Новоселов// Концептуальные вопросы устойчивого развития: Материалы V Всероссийской интернет-конференции по проблемам экономифизики и эволюционной экономики, Екатеринбург, 18 апреля – 15 мая 2006 г./ МИАБ. – Екатеринбург, 2006. – С.111-114.
7. ГОСТ 27.004-85. Надежность в технике. Системы технологические. Термины и оп-

ределения. [Текст]. Взамен ГОСТ 22954-78; введ. 1986-07-01. М.: Госстандарт России: изд-во стандартов, 2002. 18 с.

8. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем : Пер. с англ. [Текст]/ Б.Диллон, Ч.Сингх. - М. : Мир, 1984. 318 с.

## **ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЕРЕВООБРАБОТКИ ПО ПАРАМЕТРУ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ «ТОЧНОСТЬ»**

**Новоселов В.Г., Полякова Т.В.** (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

[vgnov@usfeu.ru](mailto:vgnov@usfeu.ru)

## **THEORETICAL RESEARCH OF RELIABILITY OF TECHNOLOGICAL SYSTEM OF WOODWORKING ON PARAMETER OF QUALITY OF PRODUCTION "ACCURACY"**

Технологическая система деревообработки в соответствии с ГОСТ 27.004-85 [1] включает в себя функционально взаимосвязанные и выполняющие в регламентированных условиях производства заданную технологическую операцию: средство технологического обеспечения – станок, предмет производства – деревянную заготовку и исполнителя – станочника по деревообработке. По ГОСТ 27.202-83 [2] точность является одним из основных показателей надежности технологической системы по параметрам качества изготавливаемой продукции.

Обработка древесины и древесных материалов в станках характеризуется [3] высокими значениями скорости резания ( $V > 30$  м/с), коэффициента трения ( $f = 0,2 \dots 0,5$ ), температуры в зоне резания ( $t = 800 \dots 840^\circ\text{C}$ ) и удельного давления в контакте инструмента с древесиной ( $p = 400 \dots 5000$  МПа). Такие жесткие режимы эксплуатации приводят к высокой интенсивности изнашивания инструмента быстрому его затуплению, потере режущих свойств и снижению точности обработки. В результате фактические размеры обработанной детали выходят за пределы соответствующих допусков, происходит отказ и наступает неработоспособное состояние технологической системы по параметру качества продукции «точность».

Знание закономерности наступления этого состояния в зависимости от конструктивно-технологических факторов процесса обработки древесины позволит объективно устанавливать период стойкости инструмента, время подналадки оборудования и рационально организовать его эксплуатацию и техническое обслуживание.

В ГОСТ 27.301-95 [4] предусмотрены физические методы расчета надежности, основанные на применении математических моделей, описывающих физические, химические и иные процессы, приводящие к отказам объекта, и вычислении показателей надежности по известным параметрам нагруженности объекта, характеристикам применяемых в объекте веществ и материалов, с учетом особенностей его конструкции и технологии изготовления.

Физическая модель, описывающая потерю точности в деревообработке по мере износа инструмента, и закономерности возникновения соответствующих отказов приведена в работе [5]. Средняя наработка до отказа  $T_1$  определяется через математические ожидания параметров по формуле

$$T_1 \approx \frac{16,7\bar{d}}{\gamma_{\Delta}nl(e-\varepsilon_0)}, \quad (1)$$

где  $d$  – допускаемое отклонение поверхности обработки от ее номинального расположения, мкм;  $\gamma_{\Delta}$  – интенсивность изнашивания инструмента мкм/м;  $n$  – частота вращения инструмента, мин<sup>-1</sup>;  $l$  – длина дуги контакта инструмента с древесиной, мм;  $e$  – вспомогательная величина;  $\varepsilon_0$  – относительная остаточная деформация древесины под поверхностью резания.

$$e = \frac{\sin(\alpha + \beta/2)}{\sin(\beta/2)}, \quad (2)$$

где  $\beta$  – угол заострения;  $\alpha$  – задний угол лезвия.

$$l = \sqrt{\Pi D_p}, \quad (3)$$

где  $\Pi$  – припуск на обработку;  $D_p$  – диаметр окружности резания.

Гамма-процентная наработка до отказа при  $\gamma=80\%$  определяется по формуле

$$t_{0,8} = \bar{T}_1 - 0,841\sigma_t. \quad (4)$$

Среднее квадратическое отклонение наработки до отказа  $\sigma_t$  определяется через дисперсию  $D\{t\}$  как для функции случайных величин

$$\sigma_t^2 = D\{t\} = \left(\frac{\partial t}{\partial d}\right)^2 D\{d\} + \left(\frac{\partial t}{\partial \gamma_{\Delta}}\right)^2 D\{\gamma_{\Delta}\} + \left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)^2 D\{n\} + \left(\frac{\partial t}{\partial l}\right)^2 D\{l\} + \left(\frac{\partial t}{\partial e}\right)^2 D\{e\} + \left(\frac{\partial t}{\partial \varepsilon_0}\right)^2 D\{\varepsilon_0\}. \quad (5)$$

В свою очередь

$$D\{l\} = \left(\frac{\partial l}{\partial \Pi}\right)^2 D\{\Pi\} + \left(\frac{\partial l}{\partial D_p}\right)^2 D\{D_p\}, \quad D\{e\} = \left(\frac{\partial e}{\partial \alpha}\right)^2 D\{\alpha\} + \left(\frac{\partial e}{\partial \beta}\right)^2 D\{\beta\}. \quad (6,7)$$

Ниже приведены формулы для определения частных производных:

$$\frac{\partial t}{\partial d} = \frac{16,7}{\gamma_{\Delta}nl(e-\varepsilon_0)} \quad \frac{\partial t}{\partial \gamma_{\Delta}} = -\frac{16,7d}{\gamma_{\Delta}^2nl(e-\varepsilon_0)}; \quad \frac{\partial t}{\partial n} = -\frac{16,7d}{\gamma_{\Delta}n^2l(e-\varepsilon_0)}; \quad \frac{\partial t}{\partial l} = -\frac{16,7d}{\gamma_{\Delta}nl^2(e-\varepsilon_0)}; \quad (8-11)$$

$$\frac{\partial t}{\partial e} = -\frac{16,7d}{\gamma_{\Delta}nl(e-\varepsilon_0)e}; \quad \frac{\partial t}{\partial \varepsilon_0} = \frac{16,7d}{\gamma_{\Delta}nl(e-\varepsilon_0)\varepsilon_0}; \quad \frac{\partial l}{\partial \Pi} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{D_p}{\Pi}}; \quad \frac{\partial l}{\partial D_p} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\Pi}{D_p}}; \quad (12-15)$$

$$\frac{\partial e}{\partial \alpha} = \frac{\cos(\alpha + \beta/2)}{\sin(\beta/2)}; \quad \frac{\partial e}{\partial \beta} = -\frac{\sin\alpha}{2\sin^2(\beta/2)}. \quad (16,17)$$

Исследование надежности технологической системы деревообработки по параметру качества продукции «точность» производилось методом численного эксперимента на основе разработанной физической модели расчета. Задачей эксперимента являлось определение количественной зависимости гамма-процентной наработки до отказа непосредственно от факторов процесса обработки древесины.

Ввиду многомерности модели исследование проводилось в два этапа. На первом этапе оценивалась чувствительность модели к изменению факторов, подверженных

рассеянию, в малых окрестностях около средних на диапазонах своих допустимых значений. Для проведения эксперимента все факторы были распределены на фиксированные и варьируемые.

Фиксированными факторами принимались:

- вид обработки – продольное цилиндрическое фрезерование;
- тип, модель станка – односторонний рейсмусовый СР6-10;
- порода древесины – сосна;
- влажность - 12 %;
- толщина заготовки – 50 мм.

В качестве варьируемых факторов приняты параметры, входящие аргументами в правые части формул (1-3), а также их дисперсии, входящие в правые части формул (5-7). Диапазоны варьирования факторов – параметров формул (1-3) - от их основного уровня принимались равными средним квадратическим отклонениям в пределах их допустимых по ГОСТ (или достижимых) отклонений. Дисперсии факторов принимались в соответствии с их средними квадратическими отклонениями. Варьирование дисперсий производилось на уровнях допустимых погрешностей инженерных расчетов в пределах  $\pm 3\%$ .

Основным, определяющим точность обработки, является смещение  $d$  (рис. 1).

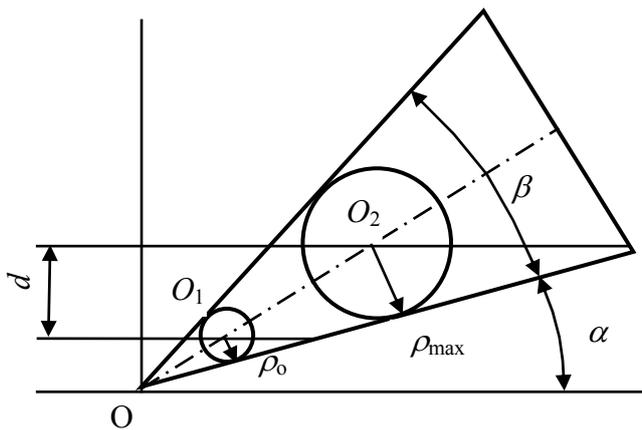


Рисунок 1 – Схема к расчету положения плоскости резания

Начальное положение лезвия режущего инструмента задается при размерной настройке станка так, чтобы поле рассеяния фактических размеров обработанных деталей  $\delta_\delta$  не выходило за пределы поля допуска размера детали по чертежу  $\delta_p$ , и имелся определенный запас на износ инструмента. Очевидно, что при такой настройке, когда центры распределений фактических размеров и размеров, назначенных по чертежу детали, совпадают, получим нижний предел

$\bar{d} = (\delta_p - \delta_\delta) / 2$ . По ГОСТ 7228-75 [6] допуск на равномерность толщины заготовки после пробной обработки на станке составляет 0,15мм. Допуск на толщину изготовленных сопрягаемых деталей столярно-строительных изделий по ГОСТ 6449.1-82 [7] должен быть по 12 качеству 0,25 мм. Учитывая фрезерование с одной стороны, примем  $\delta_\delta = 0,075$ мм и  $\delta_p = 0,125$  мм. Отсюда  $\bar{d} = 0,025$ мм. При настройке на совпадение нижних границ допусков на пробную обработку и на размеры по чертежу допускаемое смещение увеличивается, и получаем верхний предел  $\bar{d} = (\delta_p - \delta_\delta) = 0,05$  мм.

Интенсивность изнашивания  $\gamma_\Delta$  зависит от материала инструмента, вида обработки, режима и пути резания, от породы древесины. Она оценивается для стального инструмента величиной  $\gamma_\Delta = 0,0008 \dots 0,0020$  мкм/м [8].

Частота вращения инструмента для двухстороннего рейсмусового станка С2Р12-3 составляет  $\bar{n} = 4570$  мин<sup>-1</sup>. Ее дисперсия связана с изменением под нагрузкой сколь-

жения в электромагнитной системе двигателя ( $s_{max} \approx 0,02$ ) и упругого скольжения в ременной передаче ( $\xi_{max} \approx 0,02$ ). Суммарная величина диапазона рассеяния может достигать  $\delta_n = \pm (\sqrt{0,02^2 + 0,02^2})n \approx \pm 0,03n$ .

По ГОСТ 7307-75 [9] припуск на обработку составляет 4,5 мм на две стороны. Предельные отклонения размеров пиломатериалов при заданной толщине  $\pm 2,0$  мм, следовательно предельные значения припуска на одну сторону составят

$$P = (4,5 - 2)/2 \dots (4,5 + 2)/2 = 1,25 \dots 3,25 \text{ мм.}$$

Диаметр окружности резания для данного станка  $\bar{D}_p = 128$  мм, его поле допуска при тщательной настройке 0,05 мм.

Номинальный угол заострения ножей составляет  $\bar{\beta} = 40^\circ$  (0,6981 рад), задний угол  $\bar{\alpha} = 15^\circ$  (0,2618 рад). Предельные отклонения углов  $\pm 2^\circ$  (0,0349 рад).

Относительная остаточная деформация древесины под поверхностью резания принята  $\varepsilon_0 = 0,15 \dots 0,25$ .

Принятые значения факторов, их допускаемые отклонения, дисперсии, средние квадратические отклонения, уровни варьирования, кодированные обозначения приведены в табл.1. Учитывая поставленную задачу выявления степени влияния каждого отдельного фактора на гамма-процентную наработку до отказа и малые диапазоны их варьирования, определялась линейная регрессионная зависимость без учета взаимодействий вида

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i . \quad (18)$$

Ввиду большой размерности модели ( $n=16$ ) при проведении эксперимента использовался дробный план типа  $2^{n-m}$ , где  $m$ -количество независимых факторов, которые заменили в матрице плана пренебрежимо малые взаимодействия ( $m=8$ ). Таким образом, количество опытов в численном эксперименте сокращено с 65536 до 256.

Обработка результатов проведенного численного эксперимента дала значения коэффициентов уравнения регрессии (18), приведенные в табл.2.

Анализ данных таблицы показывает, что коэффициент  $b_0$  с точностью до 3 % совпадает со значением 80-процентной наработки до отказа, вычисленной по номинальным (средним) значениям параметров, входящих в формулы (1)-(17), что подтверждает адекватность линейной регрессионной модели. Сравнение коэффициентов регрессии указывает на то, что наибольшее влияние на 80-процентную наработку до отказа оказывает изменение таких факторов как: допускаемое смещение поверхности обработки; интенсивность изнашивания и припуск на обработку. Коэффициенты регрессии других факторов в рассмотренных диапазонах их варьирования составляют величины второго и выше порядка малости. При этом незначительное повышение наработки до отказа может быть достигнуто увеличением угла заточки лезвия инструмента, а также остаточной деформации древесины в зоне резания.

Таблица 1 - Кодирование факторов численного эксперимента

Формульное обозначение факторов	Номинал	Верхний предел	Нижний предел	Допуск	Среднее квадратичное отклонение	Верхний уровень	Нижний уровень	Кодированное обозначение факторов
$d$	37,5	50	25	25	4,17	41,67	33,33	$X_1$
$\gamma\Delta$	0,0014	0,0020	0,0008	0,0012	0,0002	0,0016	0,0012	$X_2$
$n$	4570	4635	4505	130	21,7	4591,7	4548,3	$X_3$
$\Pi$	2,25	3,25	1,25	2	0,333	2,583	1,917	$X_4$
$D_p$	128	128,025	127,975	0,05	0,0083	128,0083	127,9917	$X_5$
$\beta$	0,6981	0,7330	0,6632	0,0698	0,0116	0,7097	0,6865	$X_6$
$\alpha$	0,2618	0,2967	0,2269	0,0698	0,0116	0,2734	0,2502	$X_7$
$\varepsilon_0$	0,2	0,25	0,15	0,1	0,017	0,217	0,183	$X_8$
$D\{d\}$	17,36	-	-	-	-	17,882	16,840	$X_9$
$D\{\gamma\Delta\}$	$4,0 \cdot 10^{-8}$	-	-	-	-	$4,12 \cdot 10^{-8}$	$3,88 \cdot 10^{-8}$	$X_{10}$
$D\{n\}$	469,4	-	-	-	-	483,53	455,36	$X_{11}$
$D\{\Pi\}$	0,1111	-	-	-	-	0,1144	0,1078	$X_{12}$
$D\{D_p\}$	$6,94 \cdot 10^{-5}$	-	-	-	-	$7,15 \cdot 10^{-5}$	$6,73 \cdot 10^{-5}$	$X_{13}$
$D\{\beta\}$	0,000135	-	-	-	-	0,000139	0,000131	$X_{14}$
$D\{\alpha\}$	0,000135	-	-	-	-	0,000139	0,000131	$X_{15}$
$D\{\varepsilon_0\}$	0,000277	-	-	-	-	0,000286	0,000269	$X_{16}$

Таблица 2 – Коэффициенты уравнения регрессии

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$	$b_8$	$b_9$	$b_{10}$	$b_{11}$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{14}$	$b_{15}$	$b_{16}$
3,327	0,386	-0,422	-0,016	-0,231	-0,0003	0,029	-0,062	0,046	-0,052	-0,007	-0,027	-0,001	0,003	-0,007	0,006	0,0006

На втором этапе эксперимент проводился с целью исследования влияния наиболее значимых факторов на гамма-процентную наработку до отказа в более широком диапазоне их возможного изменения. Для этого величины малозначимых факторов и дисперсии параметров фиксировались на номинальном уровне, а три вышеуказанных параметра подвергались ступенчатому изменению в обе стороны от номинала с шагом, равным среднему квадратическому отклонению. При этом значения допускаемого отклонения поверхности обработки принималось в одном случае равным нижнему предельному, а в другом - верхнему предельному.

Промежуточные значения ввиду линейной зависимости от этого параметра могут быть легко получены путем интерполяции.

Результаты исследования представлены объемными графиками на рисунке 2.

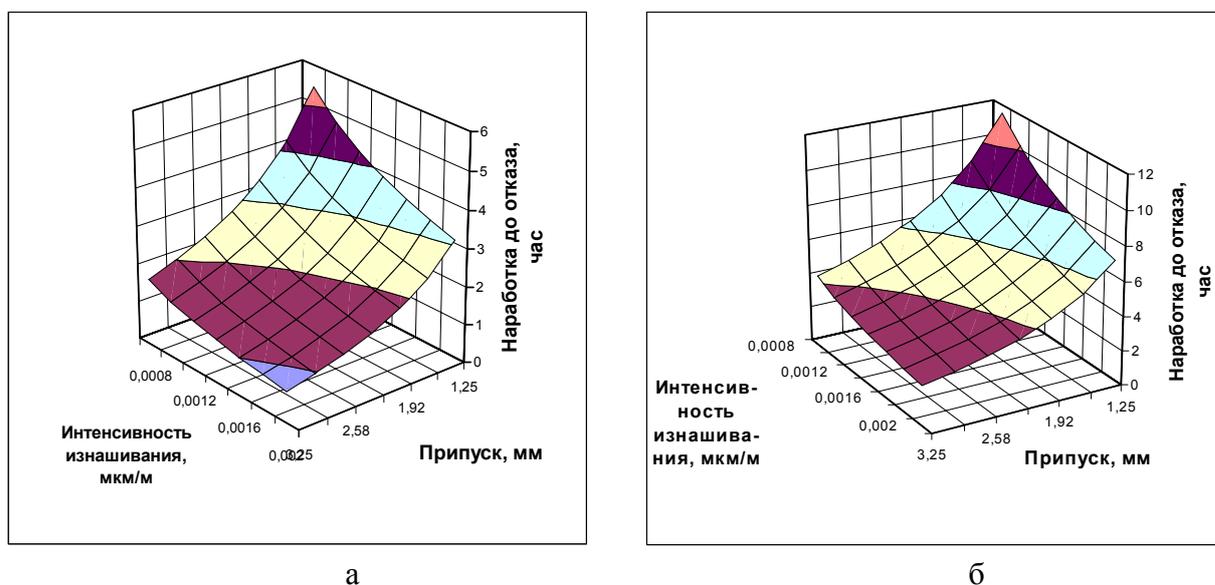


Рисунок 2 – Зависимость 80-процентной наработки до отказа по показателю «точность» от интенсивности изнашивания инструмента и припуска на обработку при величине допускаемого смещения: а – 25 мкм; б – 50 мкм

На поверхности отклика различными цветами показаны диапазоны значений наработки до отказа. Как видно, влияние выбранных факторов на надежность технологической системы обработки древесины весьма существенно: при их крайних значениях 80-процентная наработка может изменяться от 0,815 до 11,524 часа, то есть более чем в 14 раз. Влияние различных факторов существенно и сопоставимо между собой. То есть одного и того же результата в повышении надежности можно достичь повышением износостойкости инструмента или уменьшением припуска на обработку, или увеличением допускаемого смещения поверхности обработки.

Повышение износостойкости инструмента является традиционным путем, однако и самым дорогостоящим.

Уменьшение припуска на обработку по сравнению с рекомендуемым ГОСТ 7228-75 возможно путем получения столярных заготовок не непосредственно из продукции лесопиления, а, например, переработкой необрезных пиломатериалов в заготовки круглопильных станках, дающих более высокую точность и меньшую шероховатость поверхностей, подлежащих дальнейшему фрезерованию.

Допускаемое смещение поверхности обработки может быть увеличено путем более точной предварительной настройки станка и инструмента на нижний предел получаемого размера детали.

Проведенные теоретические исследования позволяют расчетным путем определять рациональный период стойкости инструмента по принятому показателю и намечать пути его повышения за счет наиболее экономически целесообразных и технически возможных решений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 27.004-85 Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения. [Текст]. Взамен ГОСТ 22954-78; введ. 1986-07-01. М.: Госстандарт Рос-

сии: изд-во стандартов, 2002. 18 с.

2. ГОСТ 27.202-83. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции. [Текст]. Введ. 1984-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1984. 50 с.

3. Глебов И.Т. Справочник по резанию древесины [Текст] / Глебов И.Т., Новоселов В.Г., Швамм Л.Г.; Урал.гос.лесотехн.акад. Екатеринбург, 1999. 190 с.

4. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. [Текст]. Введ. 1997-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1996. 10 с.

5. Новоселов В.Г. Физический метод расчета надежности технологической системы деревообработки по параметру качества продукции «точность» [Текст] / В.Г.Новоселов, И.Т.Глебов // Надежность и качество: материалы международного симпозиума, Пенза, 25-31 мая 2006 г./ Пензенский гос.техн.ун-т. – Пенза, 2006. - С. 276-278.

6. ГОСТ 7228-75. Деревообрабатывающее оборудование. Станки рейсмусовые. Нормы точности. [Текст]. Введ. 1976-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1986. 7 с.

7. ГОСТ 6449.1-82. Изделия из древесины и древесных материалов. Поля допусков для линейных размеров и посадки [Текст]. Введ. 1982-03-26. М.: Изд-во стандартов, 1991. 21 с.

8. Моисеев А.В. Износостойкость дереворежущего инструмента. [Текст] / А.В.Моисеев. – М.: Лесн.пром-сть, 1981. 112 с.

9. ГОСТ 7307-75. Детали из древесины и древесных материалов. Припуски на механическую обработку. [Текст]. Введ. 1977-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 15 с.

## **ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ДИСПЕРСНЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ**

**Синегубова Е.С.** (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [sinyes@yandex.ru](mailto:sinyes@yandex.ru)

**Григоров И.Г.** (Институт химии твердого тела УрО РАН,  
г. Екатеринбург, РФ) [grigorov@ihim.uran.ru](mailto:grigorov@ihim.uran.ru)

### *PHYSICAL METHODS OF DISPERSIBLE AND COMPOSITE MATERIALS ON THE POLYMERS BASIS STRUCTURE RESEARCH*

Производство композитных материалов непосредственно связано с технологическими процессами получения материалов с прогнозируемыми свойствами, т. е. определением оптимальных режимов их изготовления для получения максимальных эксплуатационных свойств [1]. В этой связи особое значение приобретает анализ и изучение твердых тел методами сканирующей электронной (РЭМ) и зондовой микроскопии (СЗМ), которые позволяют непосредственно наблюдать микро- и наноструктуру исследуемых объектов. Однако, для создания новых материалов недостаточно качественное

наблюдение и описание микроструктуры материалов. Необходимы знания связи требуемых макроскопических характеристик материала с микроскопическими характеристиками структуры, умение воспроизводить заданные макроскопические свойства, применяя методы регулирования фазообразованием микроструктуры в процессе изготовления материала. Поэтому исследование и решение задачи о связи физико-механических свойств твердых тел с количественными параметрами их микроструктуры позволяет воспроизводить и прогнозировать в первом приближении макроскопические свойства и эксплуатационные характеристики новых материалов.

Физические методы исследования микроструктуры (РЭМ и СЗМ) требуют соответствующего качества подготовки поверхности для их исследования (уровень шероховатости, наличие токопроводящего слоя, параллельность плоскости образца относительно плоскости сканирования зонда).

В данной работе предложен способ нанесения токопроводящего покрытия на полимерные поверхности с целью их исследования с помощью РЭМ и сканирующей туннельной микроскопии (СТМ). Влияние токопроводящего слоя на изменения качественных и количественных характеристик изображения поверхности полимера определялись при сравнении его с изображением поверхности полимера, полученной с помощью атомно-силового микроскопа (АСМ) без токопроводящего покрытия.

Результаты исследований показали, что предложенный способ нанесения токопроводящего покрытия на полимерную поверхность, позволяет исследовать количественные параметры ее микроструктуры с помощью РЭМ, СТМ и АСМ в диапазоне поля сканирования от 100x100 мкм до 100x100 нм с максимальной точностью до 1 нм.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кулак М.И. Фрактальная механика материалов. – Минск: Вышэйшая школа, 2002. – 303с.

### **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ КЛЕЕВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МАССИВНОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

**Савельев В.В.** (Тюменская сельскохозяйственная академия, г. Тюмень, РФ),  
**Паршуков Н.Н.** (ЗАО «Тюменский завод пластмасс» г. Тюмень, РФ)

### ***PROSPECTS OF GLUING SYSTEMS DEVELOPMENT FOR MASSIVE WOOD***

Город Тюмень с его регионами это центр развития нефтяной, газовой, строительной и агропромышленной отрасли.

Действующий ЗАО «Тюменский завод пластмасс» специализирован на производстве жидких синтетических смол в том числе корбонидных, меламиновых, фенольных, резорциновых. Основная продукция – смолы для деревообрабатывающей про-

мышленности и получения строительных теплоизоляционных материалов. Кроме этого на предприятии получают смолы для производства абразивного инструмента, электротехнических материалов и тампонажных работ на нефтескважинах. Смолы и клеи завода пластмасс используют для изготовления древесно-стружечных и древесноволокнистых плит, фанеры и пластиков, смоляной пленки для бумаг и облицовки столярно-мебельных изделий.

Однако отмечается в печати, что имеющиеся клеевые системы ФР-12, РФФ-50К, ФАРФ-60 разработаны более 20 лет назад и в настоящий период устарели.

Указанные клеевые системы состоят из жидкой резорциновой смолы и порошкового отвердителя – наполнителя (механическая смесь параформа и древесной муки).

Применение порошкового отвердителя при приготовлении клеев вызывает трудности связанные с достижением однородного равномерного распределения порошка в вязкой резорциновой смоле.

Применение параформа в качестве отвердителя приводит к некоторой деструкции отвержденного резорцинового полимера, а также к значительному выделению формальдегида в производственную зону.

В совокупности эти причины приводят к недостаточно качественному склеиванию. Например, в широких пределах могут изменяться прочностные показатели клеевых соединений.

В европейских странах в основном используются клеевые системы с жидкими отвердителями: «Cascosinol» – 1712 производство фирмы «Cascoadhesives» и «Prefere» – 4095 производство фирмы Dyhea.

Таким образом для совершенствования отечественных систем необходимо использование жидкого отвердителя – наполнителя аналогично зарубежному и оптимизация состава и структуры резорциновой смолы. Следующими приоритетными направлениями является разработка новых технологических более совершенных клеевых систем на основе карбомидомеламиновой и меламиновой смолы. Фенол-резорциновые клеевые системы обеспечивают наиболее высокий уровень водо- и атмосферостойкости, но при этом имеют большую стоимость. Модификация меламиновых смол с карбамидом несколько снижают их стоимость и водо-, атмосферостойкость.

Следовательно, актуальностью задачи становится обеспечение потребителей клеевыми материалами для различных условий использования. При этом необходимо подобрать систему с оптимальным соотношением стоимости и водо-, атмосферостойкости.

В настоящий период на заводе пластмасс проводятся исследования клеев на основе резорциновых, фенол-резорциновых, меламиновых и карбомидомеламиновых смол. Совместно с кафедрой лесного хозяйства и технологии древесины Тюменской сельскохозяйственной академии на заводе проводятся работы по смешиванию массивной древесины с получением изделий с прямолинейной и криволинейной форм заготовок (ламели имеют сечение 4:20x45x600мм) и строго подобраны по направленности волокон радиальной и тангентальной распиловки). Данная работа проводится в целях оптимизации номенклатуры клеев которые могли бы обеспечить надежность при эксплуатации клеевых конструкций в том числе гнутокриволинейной формы. Такие изделия актуальны для решения ряда проблем в агропромышленном комплексе, сооружении теплиц промышленного назначения, несущих конструкций для животноводческих

объектов и т.д. Другой сферой назначения является строительство спортивных объектов, объектов, ангаров для содержания оборудования и его ремонта, производственных цехов и складских помещений. Работы запланированы на 2006-2007 г.

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЕРЕВООБРАБОТКИ  
ПО ПАРАМЕТРУ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ  
«ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ»**

**Новоселов В.Г., Рогожникова И.Т. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)**

[vgnov@usfeu.ru](mailto:vgnov@usfeu.ru)

**THEORETICAL RESEARCH OF RELIABILITY OF TECHNOLOGICAL  
WOODWORKING SYSTEM ON PARAMETER OF PRODUCTION  
QUALITY "THE SURFACE ROUGHNESS "**

Технологическая система деревообработки в соответствии с ГОСТ 27.004-85 [1] включает в себя функционально взаимосвязанные средства технологического оснащения – станок, предмет производства – деревянную заготовку и исполнителя – станочника по деревообработке, выполняющие в регламентированных условиях производства заданную технологическую операцию. Шероховатость обработанной поверхности является одним из основных показателей качества изготовления, принимаемого за критерий надежности технологической системы по параметрам продукции.

Жесткие режимы эксплуатации инструмента при обработке древесины и древесных материалов в станках: скорость резания ( $V > 30$  м/с), коэффициент трения ( $f=0,2...0,5$ ), температура в зоне резания ( $t=800...840^{\circ}\text{C}$ ) и удельное давление в контакте резца с древесиной ( $p=400...5000$  МПа) [2] приводят к высокой интенсивности изнашивания инструмента, быстрому его затуплению, потере режущих свойств и снижению качества обработки. При работе шероховатость обработанной поверхности детали постепенно выходит за пределы максимально допустимых значений, т.е. происходит отказ и наступает неработоспособное состояние технологической системы по параметру качества продукции «шероховатость поверхности».

В ГОСТ 27.301-95 [3] предусмотрены физические методы расчета надежности, основанные на применении математических моделей, описывающих физические, химические и иные процессы, приводящие к отказам объекта, и вычислении показателей надежности по известным параметрам нагруженности объекта, характеристикам применяемых в объекте веществ и материалов, с учетом особенностей его конструкции и технологии изготовления.

Модель потери качества по параметру «шероховатость поверхности» и закономерности возникновения соответствующих отказов в зависимости от износа дереворежущего инструмента рассмотрены в работе [4]. Средняя наработка до отказа  $T_1$  определяется через математические ожидания параметров по формуле

$$T_1 \approx \frac{16,7}{k\gamma_{\Delta}n\sqrt{\Pi D_p}} \ln \frac{\bar{R}_{z\max}}{\bar{R}_{zo}}, \quad (1)$$

где  $k$  - коэффициент пропорциональности экспоненциальной зависимости шероховатости  $R_z$  от радиуса затупления реза  $\rho$  (рис. 1);  $\gamma_{\Delta}$  - интенсивность изнашивания – величина затупления режущей кромки в микрометрах на одном метре пути резания;  $n$  - частота вращения инструмента,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $\Pi$  - припуск на обработку;  $D_p$  - диаметр окружности резания;  $R_{zo}$  – параметр шероховатости поверхности, обработанной остро заточенным инструментом ( $\rho = \rho_o$ );  $R_{z\max}$  – параметр шероховатости поверхности, обработанной затупленным инструментом ( $\rho = \rho_{\max}$ ).

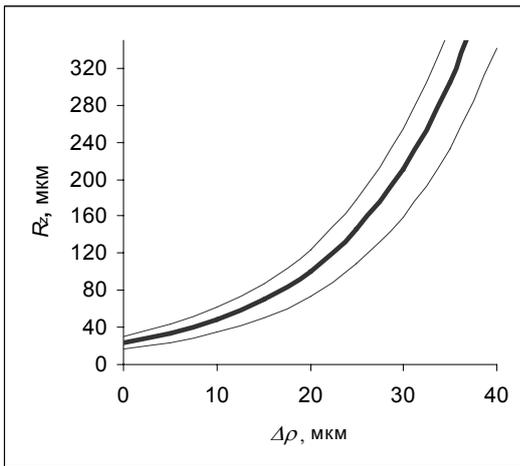


Рисунок 1 – Зависимость шероховатости от радиуса затупления лезвия

$$\sigma_t^2 = D\{t\} = \left(\frac{\partial t}{\partial R_{zo}}\right)^2 D\{R_{zo}\} + \left(\frac{\partial t}{\partial R_{z\max}}\right)^2 D\{R_{z\max}\} + \left(\frac{\partial t}{\partial \gamma_{\Delta}}\right)^2 D\{\gamma_{\Delta}\} + \left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)^2 D\{n\} + \left(\frac{\partial t}{\partial k}\right)^2 D\{k\} + \left(\frac{\partial t}{\partial \Pi}\right)^2 D\{\Pi\} + \left(\frac{\partial t}{\partial D_p}\right)^2 D\{D_p\}. \quad (3)$$

Ниже приведены формулы для определения частных производных:

$$\frac{\partial t}{\partial k} = -\frac{16,7}{k^2 \gamma_{\Delta} n \sqrt{\Pi D_p}} \ln \frac{\bar{R}_{z\max}}{\bar{R}_{zo}}; \quad \frac{\partial t}{\partial \gamma_{\Delta}} = -\frac{16,7}{k \gamma_{\Delta}^2 n \sqrt{\Pi D_p}} \ln \frac{\bar{R}_{z\max}}{\bar{R}_{zo}}; \quad (4,5)$$

$$\frac{\partial t}{\partial n} = -\frac{16,7}{k \gamma_{\Delta} n^2 \sqrt{\Pi D_p}} \ln \frac{\bar{R}_{z\max}}{\bar{R}_{zo}}; \quad \frac{\partial t}{\partial \Pi} = -\frac{16,7}{2k \gamma_{\Delta} n \sqrt{\Pi^3 D_p}} \ln \frac{\bar{R}_{z\max}}{\bar{R}_{zo}}; \quad (6,7)$$

$$\frac{\partial t}{\partial D_p} = -\frac{16,7}{2k \gamma_{\Delta} n \sqrt{\Pi D_p^3}} \ln \frac{\bar{R}_{z\max}}{\bar{R}_{zo}}; \quad \frac{\partial t}{\partial R_{z\max}} = \frac{16,7}{k \gamma_{\Delta} n \sqrt{\Pi D_p R_{z\max}}}; \quad (8,9)$$

$$\frac{\partial t}{\partial R_{zo}} = -\frac{16,7}{k \gamma_{\Delta} n \sqrt{\Pi D_p R_{zo}}}. \quad (10)$$

Исследование надежности технологической системы деревообработки по параметру качества продукции «шероховатость поверхности» производилось методом численного эксперимента на основе разработанной физической модели расчета. Задачей

эксперимента являлось определение количественной зависимости гамма-процентной наработки до отказа непосредственно от факторов процесса обработки древесины.

Ввиду многомерности модели исследование проводилось в два этапа. На первом этапе оценивалась чувствительность модели к изменению факторов, подверженных рассеянию в малых окрестностях около средних на диапазонах своих допустимых значений. Для проведения эксперимента все факторы были распределены на фиксированные и варьируемые.

Фиксированными факторами принимались:

вид обработки – продольное цилиндрическое фрезерование;

тип, модель станка – односторонний рейсмусовый СР6-10;

порода древесины – сосна;

влажность - 12 %;

толщина заготовки – 50 мм.

В качестве варьируемых факторов приняты параметры, входящие аргументами в правую часть формулы (1), а также их дисперсии, входящие в правую часть формулы (3). Диапазоны варьирования факторов – параметров формулы (1) - от их основного уровня принимались равными средним квадратическим отклонениям в пределах их допустимых по ГОСТ (или достижимых) отклонений. Дисперсии факторов принимались в соответствии с их средним квадратическим отклонениям. Варьирование дисперсий, входящих в правую часть формулы (3), производилось на уровнях допустимых погрешностей инженерных расчетов в пределах  $\pm 3\%$ .

Интенсивность изнашивания  $\gamma_{\Delta}$  зависит от материала инструмента, вида обработки, режима и пути резания, от породы древесины. Она оценивается для стального инструмента величиной  $\gamma_{\Delta}=0,0008 \dots 0,0020$  мкм/м [5].

Частота вращения инструмента для двухстороннего рейсмусового станка СР6-10 составляет  $\bar{n}=4570$  мин<sup>-1</sup>. Ее дисперсия связана с изменением под нагрузкой скольжения в электромагнитной системе двигателя ( $s_{max} \approx 0,02$ ) и упругого скольжения в ременной передаче ( $\zeta_{max} \approx 0,02$ ). Суммарная величина диапазона рассеяния может достигать  $\delta_n = \pm (\sqrt{0,02^2 + 0,02^2})n \approx \pm 0,03n$ .

По ГОСТ 7307-75 [6] припуск на обработку составляет 4,5 мм на две стороны. Предельные отклонения размеров пиломатериалов при заданной толщине  $\pm 2,0$  мм, следовательно предельные значения припуска на одну сторону составят  $\Pi=(4,5-2)/2 \dots (4,5+2)/2=1,25 \dots 3,25$  мм.

Диаметр окружности резания для данного станка  $\bar{D}_p=128$  мм, его поле допуска при тщательной настройке 0,05мм.

При начальном радиусе закругления остро заточенного лезвия режущего инструмента  $\rho_0 = 4 \dots 10$  мкм шероховатость составляет  $R_{zo} = 16 \dots 30$  мкм.

Допускаемая шероховатость после обработки древесины продольным фрезерованием по ГОСТ 7016-82 [7]  $R_z = 16 - 250$  мкм.

Принятые значения факторов, их допускаемые отклонения, дисперсии, средние квадратичные отклонения, уровни варьирования, кодированные обозначения приведены в табл.1.

Таблица 1 - Кодирование факторов численного эксперимента

Формульное обозначение факторов	Номинал	Верхний предел	Нижний предел	Допуск	Среднее квадратичное отклонение	Верхний уровень	Нижний уровень	Кодированное обозначение факторов
$R_{zo}$	23	50	25	14	2,33	25,33	20,67	$X_1$
$R_{zmax}$	205	250	160	90	15	220	190	$X_2$
$n$	4570	4635	4505	130	21,7	4591,7	4548,3	$X_3$
$k$	0,0739	0,0765	0,0713	0,0052	0,00087	0,0748	0,0730	$X_4$
$\gamma_{\Delta}$	0,0014	0,0020	0,0008	0,0012	0,0002	0,0016	0,0012	$X_5$
$\Pi$	2,25	3,25	1,25	2	0,333	2,583	1,917	$X_6$
$D_p$	128	128,025	127,975	0,05	0,0083	128,0083	127,9917	$X_7$
$D\{R_{zo}\}$	5,44	-	-	-	-	5,608	5,281	$X_8$
$D\{R_{zmax}\}$	225	-	-	-	-	231,75	218,25	$X_9$
$D\{n\}$	469,4	-	-	-	-	483,53	455,36	$X_{10}$
$D\{k\}$	$7,5 \cdot 10^{-7}$	-	-	-	-	$7,74 \cdot 10^{-7}$	$7,28 \cdot 10^{-7}$	$X_{11}$
$D\{\gamma_{\Delta}\}$	$4,0 \cdot 10^{-8}$	-	-	-	-	$4,12 \cdot 10^{-8}$	$3,88 \cdot 10^{-8}$	$X_{12}$
$D\{\Pi\}$	0,1111	-	-	-	-	0,1144	0,1078	$X_{13}$
$D\{D_p\}$	$6,94 \cdot 10^{-5}$	-	-	-	-	$7,15 \cdot 10^{-5}$	$6,73 \cdot 10^{-5}$	$X_{14}$

Учитывая поставленную задачу выявления степени влияния каждого отдельного фактора на гамма-процентную наработку до отказа и малые диапазоны их варьирования, определялась линейная регрессионная зависимость без учета взаимодействий вида

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i \quad (12)$$

Ввиду большой размерности модели ( $n=14$ ) при проведении эксперимента использовался дробный план типа  $2^{n-m}$ , где  $m$ -количество независимых факторов, которые заменены в матрице плана пренебрежимыми взаимодействиями ( $m=7$ ). Таким образом, количество опытов в численном эксперименте сокращено с 16384 до 128.

Математическая обработка результатов проведенного численного эксперимента дала значения коэффициентов уравнения регрессии (12), приведенные в табл.2.

Таблица 2 – Коэффициенты уравнения регрессии

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$	$b_8$	$b_9$	$b_{10}$	$b_{11}$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{14}$
3,9895	-0,1836	0,1380	-0,0189	-0,0468	-0,5030	-0,2779	-0,00005	-0,000068	0,0005	0,0021	0,0231	0,0055	-0,0020	-0,0007

Анализ данных таблицы показывает, что коэффициент  $b_0$  с точностью до 2 % совпадает со значением 80-процентной наработки до отказа, вычисленной по номинальным (средним) значениям параметров, входящих в формулы (1)-(10), что подтверждает адекватность линейной регрессионной модели. Сравнение коэффициентов регрессии указывает на то, что наибольшее влияние на 80-процентную наработку до отка-

за оказывает изменение таких факторов как: шероховатость поверхности в начальный период работы инструмента и максимально допустимая шероховатость поверхности детали по чертежу; интенсивность изнашивания; припуск на обработку. Коэффициенты регрессии других факторов в рассмотренных диапазонах их варьирования составляют величины второго и выше порядка малости.

На втором этапе эксперимент проводился с целью исследования влияния наиболее значимых факторов на гамма-процентную наработку до отказа в более широком диапазоне их возможного изменения. Для этого величины малозначимых факторов и дисперсии параметров фиксировались на номинальном уровне, а из четырех выбранных параметров фиксировалась на максимальном уровне допустимая шероховатость поверхности детали. Шероховатость поверхности, обработанной остро заточенным инструментом, варьировалась на двух предельных значениях (16 мкм и 30 мкм). Припуск на обработку и интенсивность изнашивания подвергались ступенчатому изменению в обе стороны от номинала до предельного значения с шагом, равным среднему квадратическому отклонению. Результаты исследования представлены объемными графиками на рисунке 2.

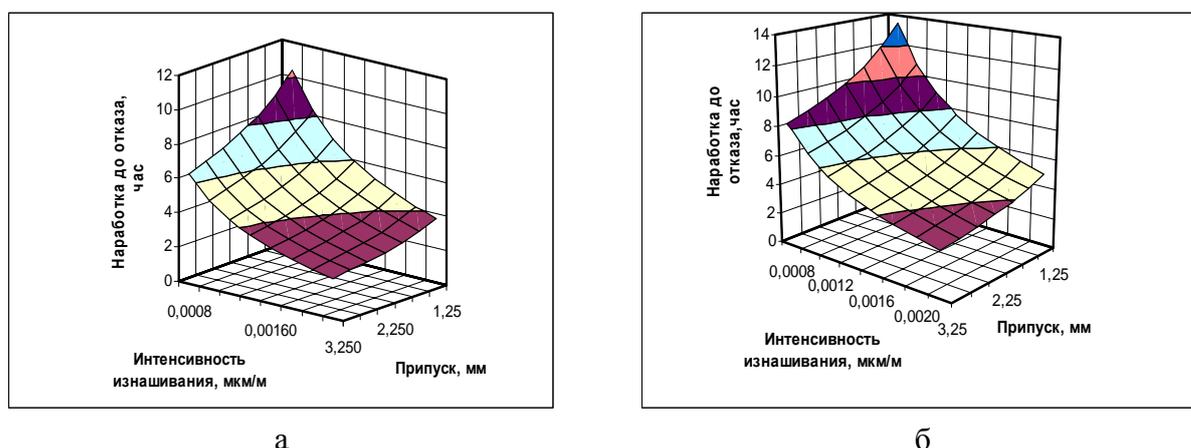


Рисунок 2 – Зависимость 80-процентной наработки до отказа от интенсивности изнашивания инструмента и припуска на обработку при начальной шероховатости поверхности, обработанной остро заточенным инструментом: а-  $R_{z0}=16$  мкм; б-  $R_{z0}=30$  мкм и конечной  $R_{zmax}=250$  мкм

На поверхности отклика различными цветами показаны диапазоны значений наработки до отказа. Как видно, влияние выбранных факторов на надежность технологической системы обработки древесины весьма существенно: при их крайних значениях 80-процентная наработка может изменяться от 2,34 до 13,43 часа, то есть более чем в 5 раз. Влияние различных факторов существенно и сопоставимо между собой. То есть одного и того же результата в повышении надежности можно достичь повышением износостойкости инструмента или уменьшением припуска на обработку, или уменьшением шероховатости в начальный период обработки.

Повышение износостойкости инструмента является традиционным путем, однако и самым дорогостоящим.

Уменьшение припуска на обработку по сравнению с рекомендуемым ГОСТ 7228-75 возможно путем получения столярных заготовок не непосредственно из про-

дукции лесопиления, а, например, переработкой необрезных пиломатериалов в заготовки круглопильных или фрезерно-пильных станках, дающих более высокую точность и меньшую шероховатость поверхностей, подлежащих дальнейшему фрезерованию.

Уменьшение шероховатости в начальный период обработки может быть достигнуто увеличением остроты (уменьшением начального радиуса затупления) и повышением точности установки инструмента.

Проведенные теоретические исследования позволяют расчетным путем определять рациональный период стойкости инструмента по принятому показателю и намечать пути его повышения за счет наиболее экономически целесообразных и технически возможных решений.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 27.004-85 Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения. [Текст]. Взамен ГОСТ 22954-78; введ. 1986-07-01. М.: Госстандарт России: изд-во стандартов, 2002. 18 с.
2. Глебов И.Т. Справочник по резанию древесины [Текст] / Глебов И.Т., Новоселов В.Г., Швамм Л.Г.; Урал.гос.лесотехн.акад. Екатеринбург, 1999. – 190 с.
3. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. [Текст]. Введ. 1997-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1996. 10 с.
4. Новоселов В.Г. Расчет безотказности технологической системы деревообработки по параметру качества продукции «шероховатость поверхности» [Текст]/ В.Г.Новоселов// Изв. Санкт-Петербургской гос. лесотехн. акад. – СПб, 2006. – Вып. 3. – С. 178-184.
5. Моисеев А.В. Износостойкость дереворежущего инструмента. [Текст] / А.В.Моисеев. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. 112 с.
6. ГОСТ 7307-75. Детали из древесины и древесных материалов. Припуски на механическую обработку. [Текст]. Введ. 1977-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 15 с.
7. ГОСТ 7016-82 Изделия из древесины и древесных материалов. Параметры шероховатости поверхности [Текст]. Введ. 1983-07-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 8 с.

*Прогрессивное оборудование и инструмент*

**ВЫБОР ГОЛОВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПИЛОПРОДУКЦИИ ИЗ  
ТОНКОМЕРНО-КОРОТКОМЕРНОГО СЫРЬЯ**

**Воробьева Е.В.,** (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [lenusya30@yandex.ru](mailto:lenusya30@yandex.ru)

**THE CHOICE OF THE MAIN TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR  
PRODUCTION OF SAWN GOODS FROM UNDERSIZED SHORT-  
WOOD MATERIALS**

В настоящее время наметилась устойчивая тенденция снижения среднего диаметра заготавливаемого сырья, при этом доля тонкомерного сырья хвойных и лиственных пород в общем объеме древесины постоянно возрастает. В то же время наблюдается постоянный рост потребности в пиломатериалах при сокращении ресурсов сырья. Это приводит к тому, что на лесопильных предприятиях для выработки пилопродукции все в больших объемах, наряду с пиловочником, используют тонкомерно-короткомерное сырье (ТКС) диаметром от 6 см, длиной от 1 м.

Для переработки ТКС на пилопродукцию в качестве головного технологического оборудования применяют многочисленные модели станков проходного типа, которые различаются характером обработки сырья. Основным оборудованием для переработки ТКС методом пиления являются круглопильные станки (двухпильные, четырехпильные), методом фрезерования - фрезерно-брусующие станки, а при совмещении этих двух способов в процессе обработки ТКС - фрезерно-пильное оборудование. Технологическое назначение оборудования по переработке такого сырья на различного вида продукцию, с учетом основных природно-производственных факторов работы того или иного лесозаготовительного предприятия, представлено в таблице 1.

К природным факторам относят те, которые связаны с совокупностью естественных условий работы лесозаготовительного предприятия. К основным из них можно отнести следующие факторы:

- размерно-качественные характеристики ТКС (диаметр, длина и т.д.);
- породный состав (хвойный, лиственный, смешанный).

Производственные факторы – совокупность факторов, связанных с конкретными условиями работы того или иного цеха, как производственного подразделения лесозаготовительного предприятия. К ним относятся следующие основные факторы:

- объем ТКС, подлежащего распиловке;
- вид готовой продукции (пиломатериалы обрезные, необрезные; брус двух-, четырехкантный, профилированный и т.д.) и потребность в ней;
- возможные направления использования кусковых отходов (переработка на мелкую пилопродукцию, на технологическую щепу).

С учетом этих основных факторов осуществляется выбор головного технологического оборудования для производства пилопродукции из ТКС. При сравнительно незначительных годовых объемах (до 5 тыс. м<sup>3</sup>) перерабатываемого сырья, как правило, применя-

ются круглопильные станки проходного типа. Такие станки просты в устройстве, не требуют установки фундаментов, т.е. они могут использоваться как в стационарном, так и в передвижном варианте. Круглопильные станки производят распиловку тонкомерных бревен на двух- или четырехкантный брус с получением в некоторых случаях дополнительно двух необрезных досок. При необходимости, дополнительная переработка брусьев, необрезных досок и горбылей, выпиленных на круглопильных станках, производится многопильными круглопильными станками с целью получения обрезных пиломатериалов требуемой толщины.

Таблица 1 – Технологическое назначение оборудования для переработки ТКС на пилопродукцию

Марка оборудования	Годовой объем переработки ТКС, тыс. м <sup>3</sup>	Характеристика ТКС		Характеристика основной готовой продукции
		Длина, м	Диаметр, см	
<b>Круглопильные станки проходного типа:</b> - <i>двухпильные</i> СДМ-2М; Ц2К-М; ЦД-1; НД-3; СКД-1; ЦМД - <i>четырепильные</i> 2ЦД-26; ЦМКД-28А	до 5 на один технологический поток	от 1	8-28	- двух- или четырехкантный брус; - пиломатериалы обрезные, необрезные хвойные и лиственные.
<b>ФБС малой мощности:</b> УФП; ФБЛ-16; ФБ1-6№; ВФ-14; УФ-16	5-10 на один технологический поток;		6-18	двух- или четырехкантный брус; - технологическая щепка.
<b>Фрезерно-пильные станки, агрегаты и линии:</b> «Термит»; «КТ»; УПФП-1М; ЛФПТ180-1; ФПЛ-20	10-30 на два технологических потока	от 1,5	8-26	профилированный брус; - оцилиндрованные и срубные бревна; - пиломатериалы обрезные хвойные и лиственные; - технологическая щепка.
<b>ФБС большой мощности:</b> ФБС-750; БС-1	до 30 на один технологический поток	от 3	8-18	двухкантный брус; - технологическая щепка.

При больших объемах переработки ТКС (более 5 тыс. м<sup>3</sup>) используется более производительное агрегатное оборудование. На фрезерно-брусующих станках в процессе обработки из бревна получают двухкантный или четырехкантный брус, боковые части перерабатываются на технологическую щепку. При необходимости дальнейшего раскроя полученного бруса применяются многопильные круглопильные станки.

Получение из ТКС пилопродукции на фрезерно-пильном оборудовании производится последовательным фрезерованием для формирования профильного бруса с его дальнейшей распиловкой на круглопильном узле агрегата. Способ переработки сырья на таком оборудовании обеспечивает получение обрезных пиломатериалов без уста-

новки в потоках оборудования второго ряда и обрезных станков, а также позволяет расширить номенклатуру выпускаемой продукции, т.е. производить не только пиломатериалы, но и различные профильные изделия (профилированный брус, оцилиндрованные и строительные элементы малых размеров).

## ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ПИЛЬНОЙ РАМКИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЛЕСОПИЛЬНОЙ РАМЫ

Адигов С. Г. (НГТУ, г. Нижний Новгород, РФ) [info@promin.nnov.ru](mailto:info@promin.nnov.ru)

### DESIGN FEATURES OF ULTRASONIC SAWBOW

Основная идея ультразвуковой лесопильной рамы заключается в наложении тангенциальных (продольных) ультразвуковых колебаний на постав пил, что приводит к интенсификации процесса резания [6]. Ее общая схема показана на рисунке 1.

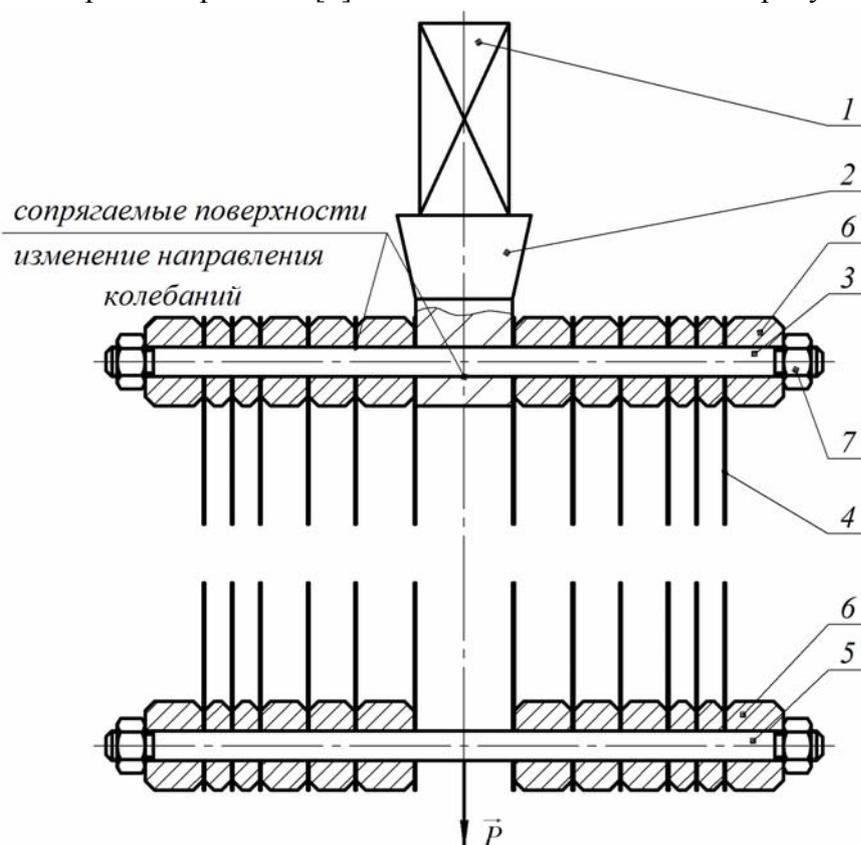


Рисунок 1 – Пильная рама ультразвуковой пилорамы:

1 – преобразователь; 2 – трансформатор; 3 – изгибный волновод; 4 – постав пил;  
5 – натяжной стержень; 6 – прокладка межпильная; 7 – зажимные гайки

Конструкция волновода, который представляет собой совокупность стержней для передачи энергии от преобразователя к инструменту и трансформации этой энергии, играет важнейшую роль. В конечном итоге от того насколько действенно подводятся ультразвуковые колебания к режущему инструменту в зону резания, зависит эффективность всего процесса пиления.

В данном случае волновод состоит из трех частей и представляет собой составную колебательную систему. Учитывая, что возбуждению подвергается постав из не менее чем двенадцати пил наиболее экономичной и простой будет схема продольно-изгибно-продольных колебаний (см. рисунок 1). Продольные волны, получаемые с преобразователя 1, усиливаются по амплитуде с помощью стержня переменного сечения – трансформатора 2. Затем они преобразуются в изгибные волны с помощью изгибного волновода – стержня установленного перпендикулярно продольной оси концентратора 3. Перпендикулярно продольной оси изгибного волновода устанавливаются пилы 4, в которых волны снова трансформируются в продольные, дающие наибольшие преимущества при резании [3]. Межпилыные прокладки 6 служат для установки необходимой толщины пиломатериалов. Зажим поставы осуществляется зажимными гайками 7. Следует отметить, что и сам инструмент при ультразвуковом резании входит в состав волновода. Подобные системы описаны в литературе, например в [2, 7]. Однако предлагаемая схема имеет два существенных отличия.

Во-первых, ввиду широкого разнообразия поставов пил, они не обязательно устанавливаются в пучностях изгибных колебаний. Тем самым в пилах возможно возникновение кроме продольных еще и изгибных волн.

Во-вторых, необходимо обеспечивать натяжение пил (например, с помощью натяжного стержня (5)), что приводит к изменению резонансной частоты их изгибных колебаний, а также к изменению условий контакта в звеньях волновода.

К конструкции волновода предъявляются следующие требования:

- система должна быть настроена в резонанс, но надо отметить, что удовлетворительные модели, позволяющие аналитически рассчитать параметры сложных волноводов (материал, длины и сечения элементов) с учетом всех особенностей, отсутствуют;
- для увеличения долговечности соединений звенья волновода должны соединяться друг с другом в узлах деформации (или пучностях смещения), что однако в полной мере к пилам не относится, поскольку их положение варьируется в зависимости от толщины выпиливаемых материалов;
- крепление системы к внешним (не участвующим в колебательном режиме) элементам конструкции необходимо осуществлять в узлах смещения (или узлах колебательной скорости);
- требуется обеспечить высокое качество сопрягаемых поверхностей соединяемых звеньев.

Резонансный режим составной колебательной системы может быть получен бесконечным количеством вариантов сочетаний звеньев, но наиболее рациональным является режим, при котором каждое из звеньев настраивается в резонанс с учетом условий его закрепления и в каждом звене реализуется режим стоячей волны. В этом случае также должно быть учтено влияние всех последующих звеньев по методу окончных нагрузок изложенному в [4]. Если пренебречь активными потерями в звеньях, что вполне возможно при расчете их резонансных длин [4], то расчет каждого звена можно выполнить независимо от других.

Изготовить волновод как единое целое не представляется возможным. Однако наличие каждого звена приводит к потерям энергии, на что основное влияние оказывает качество соединения. Здесь необходимо обеспечить низкую шероховатость сопря-

гаемых поверхностей, а также строгую перпендикулярность осей, вдоль которых распространяются колебания. Все это очевидно сказывается на стоимости соединения.

Достаточно полный обзор схем соединения звеньев при различных способах обработки резанием приведен в [3]. Однако в данном случае оказалось возможным использовать натяжение пил с целью создания принципиально новой конструкции узла соединения звеньев (рисунок 2).

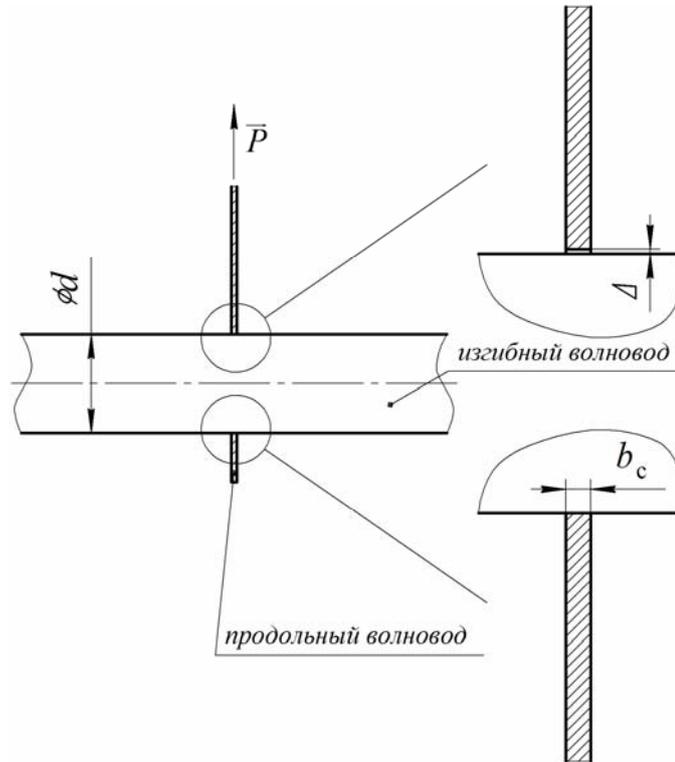


Рисунок 2 – Схема соединения звеньев пильной рамки

Натяжение пил пильной рамки силой  $P$ , Н, передается на все звенья волновода, чем обеспечивается хороший акустический контакт и перпендикулярность звеньев. Так как при натяжении все равно образуется зазор  $\Delta$ , что соединительную посадку выполнить с зазором. Эксперименты на опытной конструкции пильной рамки показали, что изменение посадки соединения с Н7/с6 (с натягом) на Н7/ф7 (с зазором) не влияет на колебания пил, но при этом сборка узлов значительно упрощается. Представляется вполне возможным применять более простые (и, следовательно, более дешевые) посадки с зазором, например Н9/д9 или Н11/д11. Главное, чтобы величина зазора была меньше удвоенной амплитуды изгибных колебаний составляющей не более 40 мкм.

На такое соединение накладывается следующее ограничение [4]:

$$\frac{P}{d \cdot [\sigma_{\text{сМ}}]} \leq b_c \leq (0,02 \dots 0,05) \cdot \lambda_{\text{и}}, \quad (1)$$

где  $P$  – усилие натяжения, Н;

$d$  – ширина соединения (равна диаметру в случае круглого стержня), м;

$b_c$  – длина соединения, м;

$[\sigma_{\text{сМ}}]$  – допускаемые напряжения смятия менее прочной из контактирующих деталей, Па;

$\lambda_{и}$  – длина волны изгибных колебаний, м.

Левое условие представляет собой условие прочности соединения (аналогично расчету болтов на смятие), а правое – условие отсутствия влияния соединения на повороты стержня изгибным колебаниям.

Кроме того, соединяемые поверхности должны обладать достаточной твердостью и низкой шероховатостью. Как показали сравнительные исследования вполне достаточно твердости  $45...47 HRC_9$  и шероховатости  $Ra 2,5$  мкм.

Следует отметить, что приведенная схема соединения звеньев приводит к тому, что расчет резонансных длин звеньев надо вести по формулам стержней со свободными концами, поскольку они допускают перемещение и поворот.

Расчет трансформатора и стержня изгибных колебаний особых трудностей не представляет и подробно описан, например, в [4].

Рассмотрим особенности распространения ультразвуковых волн в пилах (рисунок 3).

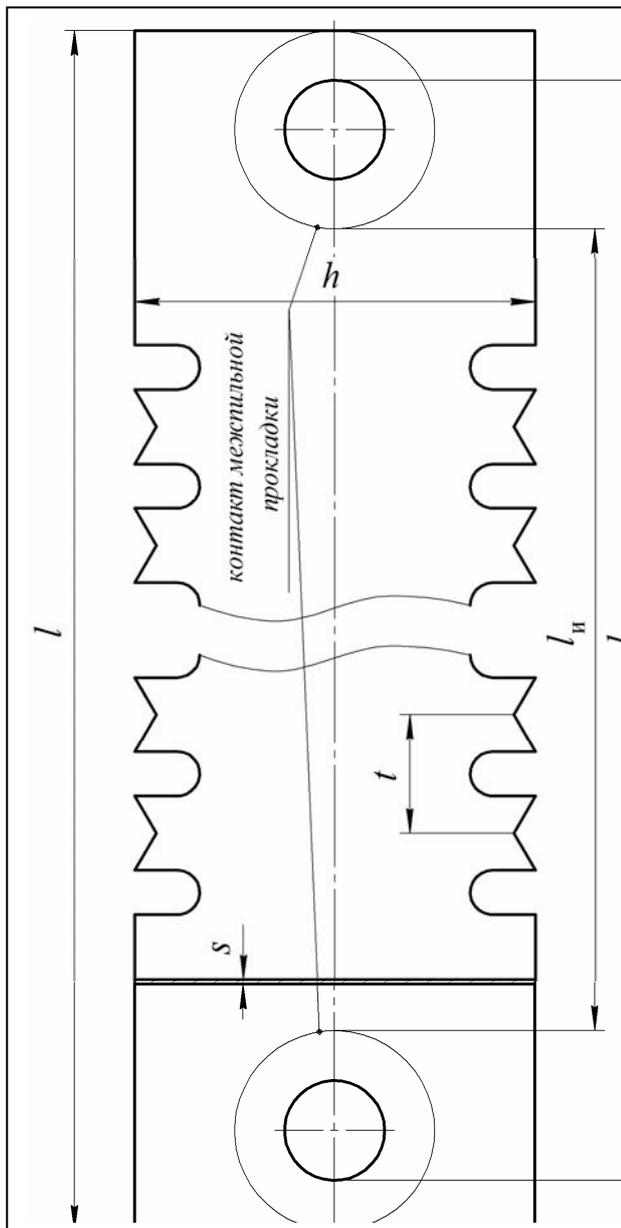


Рисунок 3 – Пила рамная

Пила представляет собой тонкую пластину, так как для нее выполняется условие [5]

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot f_k \cdot s}{\sqrt{\frac{G}{\rho}}} \ll 1, \quad (2)$$

где  $f_k$  – частота вынужденных колебаний, Гц;

$s$  – толщина пилы, м;

$G$  – модуль сдвига материала пилы, Па;

$\rho$  – плотность материала пилы, кг/м<sup>3</sup>.

Следует отметить, что основание дроби в уравнении (2), представляет собой фазовую скорость сдвиговых волн. При указанной схеме возбуждения путем создания возмущений на торцевой поверхности пластинки в ней распространяются волны Лэмба нулевого порядка, которые представляют собой продольную и изгибную волну в пластине.

Для продольных колебаний пила можно считать стержнем со свободными концами, так как через них в пилу вводятся колебания. Резонанс продольных колебаний наступит, если в длину пилы уложится четное число длин продольных волн, то есть длина пины  $l_{\text{п}}$ , м, должна быть равна

$$l_{\text{п}} = k \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}} \cdot \frac{1}{2 \cdot f_{\text{к}}}, \quad (k = 1, 2, 3, \dots), \quad (3)$$

где  $E$  – модуль сдвига материала пины, Па.

Приведенная форма справедлива для однородных стержней, пила же имеет зубья и потому является стержнем переменного сечения. Отражения ультразвуковой волны, возникающие в зубьях, будут взаимно скомпенсированы, если выполняются два условия.

Во-первых, необходимо чтобы в одну длину волны укладывалось целое число шагов зубьев, то есть шаг пины  $t$ , м, будет

$$t = \frac{1}{k} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}} \cdot \frac{1}{f_{\text{к}}}. \quad (3)$$

Во-вторых, пила должна быть симметрична относительно продольной оси, то есть зубья должны быть нарезаны с двух сторон, что может повлиять и на организацию процесса резания (можно сделать подвижной пилораму, и пилить бревна в два направления).

Для изгибных колебаний рамная пила при ее обжиме межпилными прокладками рассматривается как шарнирно закрепленная полоса со свободной длиной  $l_{\text{и}}$ . Ее резонансная частота изгибных колебаний определяется по формуле [1]:

$$f_{\text{и р}} = \frac{k^2 \cdot \pi}{2 \cdot l_{\text{и}}^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{\rho \cdot S} \cdot \left( 1 + \frac{P^2 \cdot l_{\text{и}}^2}{k^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I} \right)}, \quad (4)$$

где  $I$  – осевой момент инерции пины, относительно оси находящейся в плоскости колебаний, м<sup>4</sup>;

$S$  – площадь сечения пины, м<sup>2</sup>.

Меняя силу натяжения пины можно всегда настроить ее в резонанс с прилагаемыми вынужденными колебаниями. Хотя это усилие оказывается меньшим, чем применяемые для натяжения поставов пил в существующих лесопильных рамах, его будет вполне достаточно для данной конструкции ввиду снижения усилия при пилении.

В работе [1] показано, что резонансные частоты изгибных колебаний практически линейно зависят от силы натяжения пины и почти не зависят от шага зубьев, эксцентриситета линии натяжения и смещения прокладок по ширине пины.

Приведенные выше формулы являются приближенными и в полной мере не могут описать закон распределения колебаний по пиле, поэтому важнейшую роль играют экспериментальные исследования.

Эксперименты, проведенные на опытной конструкции пильной рамки, показали, что важнейшее значение для распространения ультразвуковой волны по пиле имеет конструкция между пильными прокладками.

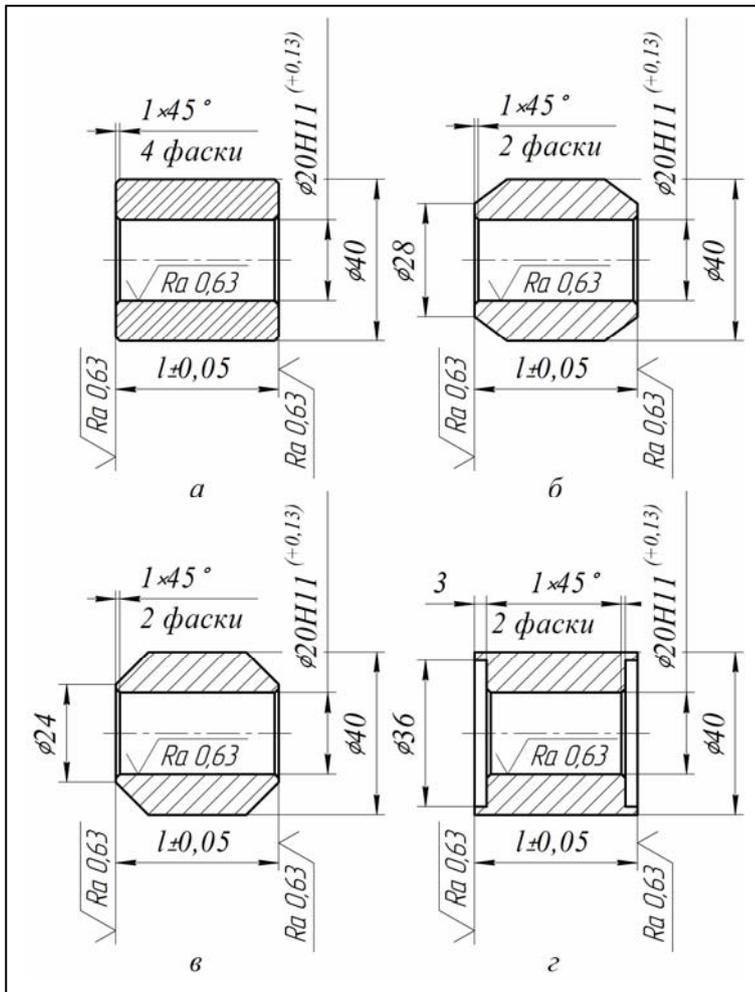


Рисунок 4 – Конструкции между пильных прокладок

Описание экспериментальных работ с опытной конструкцией пильной рамке представлено в таблице 1. Во всех опытах для возбуждения ультразвуковых волн использовался излучатель ПМС-15А-18, параметры которого приведены в таблице 2.

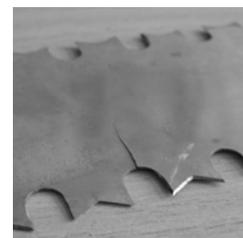
Рамные пилы во всех экспериментах (за исключением эксперимента № 4) изготавливались согласно рисунку 1 со следующими размерами:  $l = 760$  мм,  $h = 80$  мм,  $s = 0,8$  мм,  $t = 24$  мм, материал – Сталь У8А ГОСТ 1435-99,  $HRC_3$  42...52, зубья нарезаны с обеих сторон.

В эксперименте № 4 использовались рамные пилы переделанные из ленточной пилы Uddeholm со следующими размерами:  $l = 760$  мм,  $h = 80$  мм,  $s = 1,0$  мм,  $t = 30$  мм, профиль зуба LS, зубья нарезаны с одной стороны.

Натяжка пил неконтролируемая с помощью болтового соединения.

Таблица 1 – Экспериментальные работы по созданию волновода

№ п/п	Описание эксперимента	Результаты эксперимента
1	В поставе 8 пил: 19-32-40-40-40-32-19. Межпильные прокладки конструкции, показанной на рисунке 4, а.	Изгибные и продольные колебания пил практически отсутствуют.
2	В поставе 8 пил: 19-32-40-40-40-32-19. Межпильные прокладки конструкции, показанной на рисунке 4, б.	Разрушение одной из центральных пил по 15 пазу отсчитывая от точки ввода колебаний примерно через 10...15 минут работы.



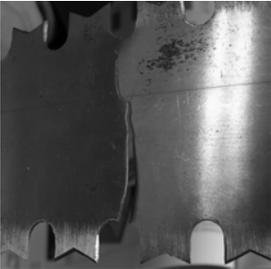
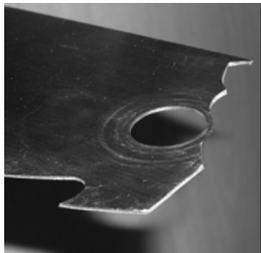
№ п/п	Описание эксперимента	Результаты эксперимента
3	В поставе 6 пил: 32-40-40-40-32. Обработан паз пилы с целью уменьшения концентрации напряжений. Межпилльные прокладки конструкции, показанной на рисунке 4, в.	Разрушение трех рамных пил по 7 пазу, одной по 8 пазу, одной по 9 пазу примерно через 5...10 минут работы. 
4	В поставе 4 пилы из стали марки Uddeholm: 40-40-40. Межпилльные прокладки конструкции, показанной на рисунке 4, в.	Разрушение одной из крайних пил примерно через 4 часа работы. 
5	В поставе 4 пилы: 40-40-40. Межпилльные прокладки конструкции, показанной на рисунке 4, г.	Нет разрушений пил.

Таблица 2 – Параметры излучателя ПМС-15А-18

Наименование параметра	Значение
Потребляемая мощность, Вт	4500
Рабочая частота, Гц	18000
Направление колебаний	продольные
Амплитуда колебаний на торце излучателя, мкм	15
Расход воды на охлаждение, л/мин	5
Габаритные размеры, мм	Ø175×353
Масса, кг	13

По-видимому, взаимодействие продольных и изгибных колебаний оказывает сложное влияние на распространение волн по пиле (Исследования изгибных колебаний пилы с помощью Хладниевых фигур показали, что их распределения по пиле носит весьма сложный характер, что связано с формированием интерференционной структуры нескольких волн).

В первом случае разрушений пил не наблюдалось, но и колебания практически отсутствовали. Это можно объяснить тем, что при такой форме между пильных прокладок зажимается место ввода колебаний в пилу.

Очевидно, что уменьшение площади соприкосновения между пильной прокладкой и пилы приводит к активации колебаний пилы. И если продольные колебания явля-

ются полезными, способствуя процессу резания, то разрушение пил можно связать с изгибными колебаниями. Действительно разрушение пилы в опыте 4 частично произошло прямо по контуру контактирования между пыльной прокладкой где, по видимому, оказалась точка перегиба. Можно предположить, что изгибные колебания имеют при данной конструкции пыльной рамки низкочастотные составляющие.

Характер разрушений пил в экспериментах № 2 и № 3 может наблюдаться и при простом растяжении пил с наложением ультразвуковых колебаний. Однако усилия растяжения, которое составляло в экспериментах  $P \approx 500$  Н, явно для этого недостаточно, кроме того, опасное сечение находится в плоскости натягивающего стержня (усилие разрыва составляет 47800 Н).

Концентраторы напряжений в пилах (острый угол в зубе и заусенцы в пазе и в зубе пилы, возникающие при ее штамповке) не оказывают решающего значения, поскольку и при их отсутствии пилы разрушаются. Наоборот большое значение имеют свойства материалы пилы, а именно усталостная выносливость. Стойкость к изгибным колебаниям пил из стали марки Uddeholm по сравнению с пилами из стали У8А оказалось выше в восемь раз при прочих равных условиях.

Межпилыная прокладка, показанная на рисунке 4, г, является комбинацией тех, которые изображены на рисунках 4,а и 4, в. При такой конструкции они не влияют на продольные колебания, но существенно уменьшают амплитуду изгибных колебаний.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дунаева В. В. Контроль натяжения рамных пил по частоте их изгибных колебаний / В. В. Дунаева // Изв. ВУЗов. – Лесн. журн. – 1981. – № 5. – С. 68-71.
2. Источники мощного ультразвука / Под ред. Л. Д. Розенберга. – М.: Наука, 1967. – 378 с.: ил.
3. Кумабэ Д. Вибрационное резание / Перевод с яп. С.Л. Масленникова; Под ред. И.И. Портнова и В.В. Белова. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.: ил.
4. Теумин И. И. Ультразвуковые колебательные системы / И. И. Теумин. – М.: Машгиз, 1959. – 333 с.: ил.
5. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / Глав. ред. И. П. Голямина. – М.: Машиностроение, 1979. – 400 с.: ил.
6. Пат. 2113347 Россия, МКИ 6 В 27 В 1/00, 3/00, 19/00, 23/00. Способ распиловки древесины лезвийным инструментом и устройство для его осуществления. / В. Ф. Гордеев и др. – № 97105166/13; Заявл. 02.04.97; Опубл. 20.06.98, Бюл. № 17.
7. Пат. 2185896 Россия, МКИ 7 В 06 В 1/06. Ультразвуковое устройство (варианты) / А.Н. Буханов; О.А. Скачков; В.Б. Акименко; О.М. Смирнов. – № 2000130905/28; Заявл. 13.12.00; Опубл. 27.07.02, Бюл. № .

## ОСОБЕННОСТИ ГЕОМЕТРИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПИЛЕНИИ ДРЕВЕСИНЫ

Гордеев В. Ф., (ООО ПТЦ «Промин», г. Нижний Новгород, РФ)  
[info@promin.nnov.ru](mailto:info@promin.nnov.ru)

Адилов С. Г., (НГТУ, г. Нижний Новгород, РФ) [info@promin.nnov.ru](mailto:info@promin.nnov.ru)

### DESIGN FEATURES OF FRAME-SAW FOR ULTRASONIC SAWING

Основная идея ультразвуковой лесопильной рамы заключается в наложении ультразвуковых колебаний на постав пил, что приводит к интенсификации процесса резания [3]. Пильная рамка показана на рисунке 1.

Возбуждение тангенциальных ультразвуковых колебаний в пилах осуществляется по схеме продольно-изгибно-продольных колебаний. При этом в пиле наряду с продольными (тангенциальными) колебаниями возникают еще и изгибные. Колебания пилы носят сложный характер, что связано с формированием интерференционной структуры нескольких типов волн.

Все вышесказанное оказывает большое влияние на геометрию и конструктивные параметры режущего инструмента.

Рассмотрим распространение продольных волн по пиле, которая в этом случае представляет собой стержень переменного сечения. В случае настройки пилы в резонанс по продольным колебаниям по ней распространяется стоячая продольная волна. Для определения резонансной длины пилы  $l_{\text{п}}$ , м, необходимо воспользоваться общим условием, когда в нее должно укладываться целое число длин продольных полуволн.

Главной особенностью ультразвукового резания с наложением тангенциальных ультразвуковых колебаний является отвод режущей кромки от обрабатываемого материала и движение ее назад в течение части времени каждого цикла. При этом передняя грань начинает выполнять роль задней и наоборот. Поэтому эффективным будет применение симметричной формы зуба, одна из возможных конструкций которого приведена в [4].

Кроме того, симметрия зуба позволяет исключить при возвратно-поступательном пилении холостой ход, что приводит к более полной загрузке привода главного движения, упразднению сложных механизмов подачи бревна и уклона пил.

В целях компенсации возникающих при распространении ультразвуковой волны отражений, возникающие в зубьях необходимо обеспечить выполнение двух условий.

Во-первых, требуется, чтобы в одну длину продольной волны укладывалось целое число шагов зубьев, то есть шаг пилы  $t$ , м, будет

$$t = \frac{1}{k} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}} \cdot \frac{1}{f_k}, \quad (k = 1, 2, 3, \dots), \quad (1)$$

где  $E$  – модуль сдвига материала пилы, Па.

$\rho$  – плотность материала пилы, кг/м<sup>3</sup>;

$f_k$  – частота вынужденных колебаний, Гц.

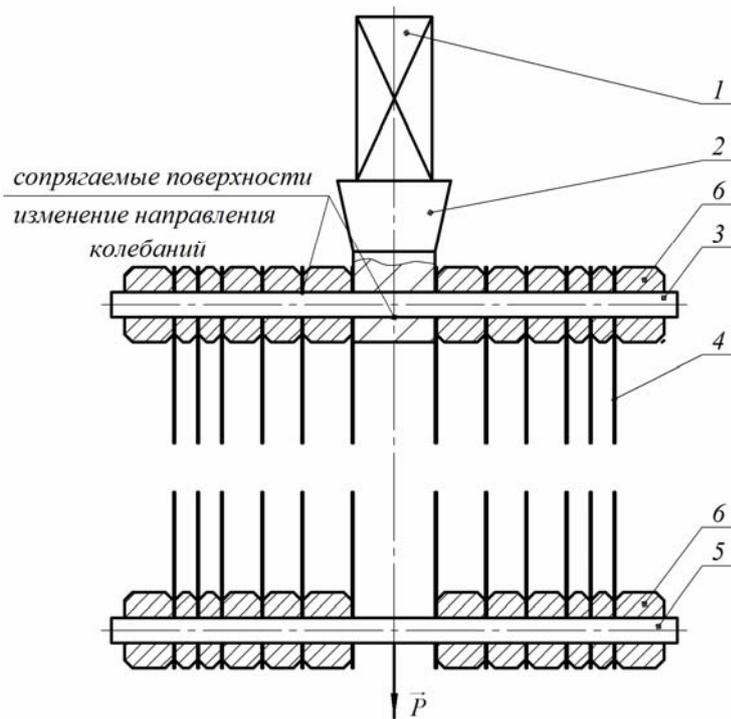


Рисунок 1 – Пильная рамка ультразвуковой пилорамы:

- 1 – преобразователь; 2 – трансформатор; 3 – изгибный волновод; 4 – постав пил;  
5 – натяжной стержень; 6 – прокладка межпилыная

Во-вторых, пила должна быть симметрична относительно продольной оси, то есть зубья должны быть нарезаны с двух сторон, что может повлиять и на организацию процесса резания (можно, например, сделать подвижной пилораму, и пилить бревна в два направления).

Представляется целесообразным использовать пилы с отсутствием зубьев в узлах продольной волны, так как в этих точках резание является обычным [1].

Рамная пила показана на рисунке 2.

Рассмотрим распространение изгибных волн по пиле. Если пила настроена в резонанс по изгибным колебаниям, то по ней распространяется стоячая волна. Следует отметить, что на резонансную длину пилы по изгибным колебаниям  $l_{из}$ , м, оказывают влияния не только ее геометрические размеры, но и сила натяжения  $P$ , Н.

В случае распространения в пиле изгибных волн имеет место резание с переменным углом наклона режущей кромки  $\theta(x, t)$ , рад. Причем этот угол складывается из двух составляющих – статической  $\theta_{ст}(x, t)$ , рад, и динамической  $\theta_{дин}(x, t)$ , рад, и равен

$$\theta(x, t) = \theta_{ст}(x, t) + \theta_{дин}(x, t). \quad (2)$$

Статическая составляющая обусловлена поворотом сечений пилы в результате ее изгиба. Динамическая составляющая зависит от соотношения основной и колебательной скорости резания.

Примем, что изгибные волны распространяются вдоль пилы по гармоническому закону. Стоячая волна описывается уравнением

$$y(x, t) = a_{к и} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_k \cdot t) \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{\lambda_{и}}\right), \quad (3)$$

где  $a_{к и}$  – амплитуда стоячей изгибной волны, м;

$\lambda_{и}$  – длина стоячей изгибной волны, м.

Распространение изгибных колебаний по пиле показано на рисунке 3. Исходя из геометрического смысла производной как углового коэффициента касательной в данной точке, угол наклона режущей кромки будет иметь следующее значение

$$\theta_{ст}(x, t) = \operatorname{arctg}\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right),$$

$$\theta_{ст}(x, t) = \operatorname{arctg}\left(-\frac{2 \cdot \pi}{\lambda_{и}} \cdot a_{к и} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_k \cdot t) \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{\lambda_{и}}\right)\right). \quad (4)$$

Для пучностей

$$x = \pm \frac{m \cdot \lambda_{и}}{2}, \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

$$\theta_{ст}(x, t) = 0. \quad (5)$$

Для узлов

$$x = \pm \frac{\left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda_{и}}{2}, \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

$$\theta_{ст}(x, t) = \pm \operatorname{arctg}\left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda_{и}} \cdot a_{к и} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_k \cdot t)\right). \quad (6)$$

Колебательная скорость будет равна

$$v_k(t) = \frac{\partial y}{\partial t},$$

$$v_k(t) = -2 \cdot \pi \cdot f_k \cdot a_{к и} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_k \cdot t) \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{\lambda_{и}}\right). \quad (7)$$

При резании с постоянной основной скоростью резания  $v_p$ , м/с угол наклона режущей кромки будет [2]

$$\cos \theta_{дин}(x, t) = \frac{v_p}{\sqrt{(v_p)^2 + \left(-2 \cdot \pi \cdot f_k \cdot a_{к и} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_k \cdot t) \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{\lambda_{и}}\right)\right)^2}}. \quad (8)$$

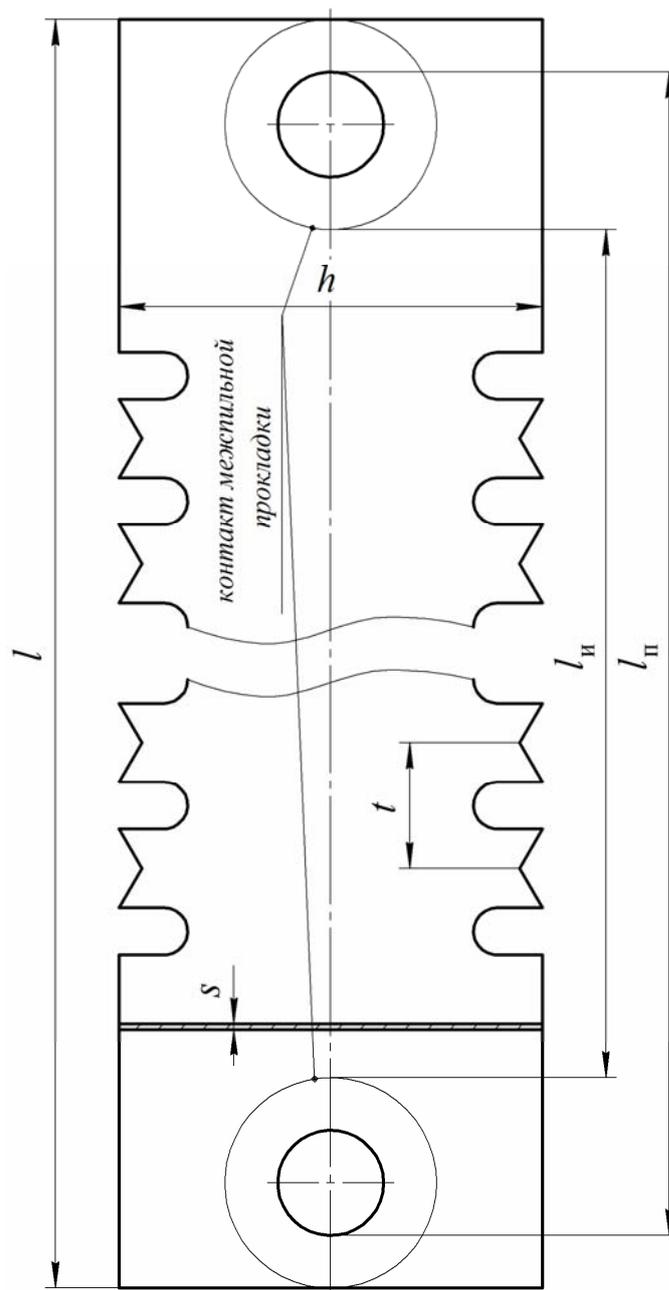


Рисунок 2 – Пила рамная

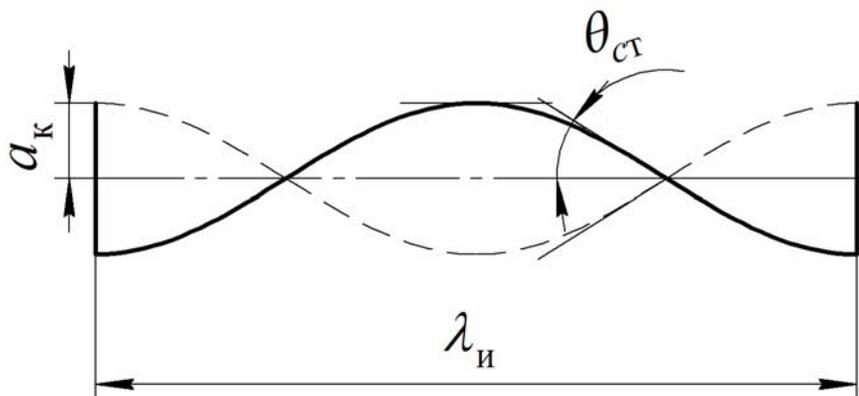


Рисунок 3 – Распространение изгибной стоячей волны по пиле

Для пучностей волны

$$x = \pm \frac{m \cdot \lambda_{\text{и}}}{2}, \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

$$\cos \theta_{\text{дин}}(x, t) = \frac{v_{\text{p}}}{\sqrt{(v_{\text{p}})^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_{\text{к}} \cdot a_{\text{к и}} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_{\text{к}} \cdot t))^2}}. \quad (8)$$

Для узлов волны

$$x = \pm \frac{\left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda_{\text{и}}}{2}, \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

$$\cos \theta_{\text{дин}}(x, t) = 1,$$

$$\theta_{\text{дин}}(x, t) = \pm 2 \cdot \pi \cdot m, \quad (m = 0, 1, 2, \dots). \quad (9)$$

Резание с переменным углом наклона режущей кромки приводит к изменению геометрии резания. В частности контурный угол резания  $\delta_{\text{к}}$ , рад, Контурный задний угол  $\alpha_{\text{к}}$ , рад, и радиус закругления режущей кромки,  $\rho$ , м, можно определить из соотношений [2]:

$$\tan \delta_{\text{к}} = \tan \delta_{\text{с}} \cdot \cos \theta(x, t),$$

$$\tan \alpha_{\text{к}} = \tan \alpha_{\text{с}} \cdot \cos \theta(x, t),$$

$$\rho = \rho \cdot \cos \theta(x, t),$$

где  $\delta_{\text{с}}$  – статический угол резания, рад;

$\alpha_{\text{с}}$  – статический задний угол, рад;

$\rho$  – радиус закругления режущей кромки без наложения колебаний, м.

Статическая составляющая угла наклона режущей кромки при ультразвуковом резании очень невелика. В частности при амплитуде  $a_{\text{к и}} = 20$  мкм, частоте  $f_{\text{к}} = 18000$  Гц она составляет не более  $8 \cdot 10^{-4}$  рад для пил из инструментальных сталей. Поэтому основную роль играет динамическая составляющая.

Очевидно, что размещение зубьев в узлах стоячей изгибной волны (где имеет максимальное значение статическая составляющая угла наклона режущей кромки) нецелесообразно, так как в этих точках реализуется обычное резание

Наиболее выгодным будет вариант, когда узлы продольной волны и узлы изгибной волны совпадают, тем самым можно убирать зубья пилы в одном месте. Это вполне возможно путем выбора геометрических размеров пилы (длины  $l$ , м, ширины  $h$ , м, или толщины  $s$ , м, пилы). Однако, как показали эксперименты с опытной конструкцией пильной рамки, изгибные колебания играют значительно меньшую (и даже негативную) роль, чем продольные.

Следует также уделить особое внимание выбору контурных углов инструмента, так как они являются переменными. В частности при амплитуде  $a_{\text{к и}} = 20$  мкм, часто-

те  $f_k = 18000$  Гц и  $v_p = 1$  м/с косинус динамического угла наклона режущей кромки достигает значения  $\cos \theta_{\text{дин}}(x, t) = 0,55$ , что весьма существенно.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кумабэ Д. Вибрационное резание / Перевод с яп. С.Л. Масленникова; Под ред. И.И. Портнова и В.В. Белова. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.: ил.
2. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов: Учебник для вузов / В. И. Любченко. – 2-е изд. испр. и доп. – М.: МГУЛ, 2004. – 310 с.: ил.
3. Пат. 2113347 Россия, МКИ 6 В 27 В 1/00, 3/00, 19/00, 23/00. Способ распиловки древесины лезвийным инструментом и устройство для его осуществления. / В. Ф. Гордеев и др. – № 97105166/13; Заявл. 02.04.97; Оpubл. 20.06.98, Бюл. № 17.
4. Пат. 2124984 Россия, МКИ 6 В 27 В 33/10, В 23 D 61/12. Пильное полотно. / В. Ф. Гордеев и др. – № 96122695/ 13; Заявл. 28.11.96; Оpubл. 20.01.99, Бюл. № 2.

### О КОНВЕКТИВНОМ ТЕПЛОБМЕНЕ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ПИЛЫ ПРИ РЕЗАНИИ

Пашков В.К., Щепочкин С.В. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)  
[art-sit@yandex.ru](mailto:art-sit@yandex.ru)

### ABOUT CONVECTIVE HEAT EXCHANGE OF A CUTTING PARTSAWS AT CUTTING

В работах по исследованиям теплофизической обстановки в зоне резания круглыми пилами, оценки доли тепла, отводимого через инструмент существенно различаются. По результатам экспериментальных исследований [1] через контактные поверхности лезвий зубьев с древесиной на нагрев пил расходуется до 70 % общего количества эквивалентной тепловой мощности при резании. При этом 60...65 % идёт на нагрев режущей части пилы в установившемся тепловом режиме.

Для аналитической оценки количества тепла, расходуемого на нагрев режущей части необходимо знать достоверную информацию о распределении температуры по высоте зуба и коэффициенте теплоотдачи зуба при конвективном теплообмене с окружающей средой.

По нашим исследованиям температурный напор данного сечения зуба по высоте над температурой окружающей среды определяется выражением

$$\Delta t_{\text{cpi}} = \Delta t_0 \frac{e^{-mx_i} U(0,5(1+\nu); 1; 2mx_i)}{e^{\frac{m\rho}{\sin \beta/2}} U\left(0,5(1+\nu); 1; \frac{2m\rho}{\sin \beta/2}\right)}, \quad (1)$$

где  $\Delta t_0$  – превышение температуры резания над температурой окружающей среды, °С;

$e$  – основание натурального логарифма,  $e = 2,71828$ ;

$U(0,5(1+\nu); 1; 2mx_i)$  – конфлюэнтная (вырожденная) гипергеометрическая функция 3-х аргументов  $0,5(1+\nu)$ ; 1 и  $2mx_i$ ;

$\beta$  – угол заострения зуба, град.;

$x_i$  – расстояние от вершины зуба до рассматриваемого участка, м;

$\rho$  – радиус затупления лезвия, м;

$m$  и  $\nu$  – коэффициенты, необходимые для нахождения аргументов гипергеометрической функции, которые соответственно равны

$$m = \sqrt{\frac{2\alpha_{cp}}{\lambda b}}; \quad \nu = \frac{180b}{\pi\beta} \sqrt{\frac{2\alpha_{cp}}{\lambda b}}, \quad (2)$$

где  $\alpha_{cp}$  – коэффициент теплоотдачи зуба в окружающую среду, Вт/(м<sup>2</sup>°С);

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала зуба, Вт/(м°С).

$b$  – толщина зуба (пильного диска), м;

Коэффициент конвективной теплоотдачи  $\alpha_{cp}$  при принятых скоростях вращения пил, устойчивом турбулентном перемещении потоков воздуха и его независимости от ширины пропила определяется выражением [2]

$$\alpha_{cp} = 0,0287 \frac{\lambda_f \omega^{0,8} r^{0,6}}{\nu_f^{0,8}}, \quad (3)$$

где  $\lambda_f$  – коэффициент теплопроводности воздуха,  $\lambda_f = 2,59 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м°С);

$\omega$  – угловая скорость вращения диска, рад/с;

$r$  – радиус пилы, м;

$\nu_f$  – кинематическая вязкость воздуха,  $\nu_f = 15,06 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

Для определения теплоты, передающейся в окружающую среду режущей частью (зубьями) пилы  $Q_{OKP}$  условно зуб пилы разбиваем на кольцевые участки радиусом  $x_i$  и шириной  $\Delta x$  (рисунок 1). На каждом из них теплоотдача в окружающую среду определяется по закону Ньютона-Рихмана

$$Q_{OKP} = z \alpha_{cp} \sum_{i=1}^n F_i \Delta t_{cpi}, \quad (4)$$

где  $z$  – число зубьев пилы;

$F_i$  – площадь поверхности теплоотдачи участка, м<sup>2</sup>;

$n$  – количество участков, 1, 2 ...  $n$ .

Площадь поверхности теплоотдачи участка определяется из выражений:

$$\text{для } x_i \leq a \quad F_i = 2\Delta x \left( \frac{\pi x_i \beta}{180} + b \right); \quad (5)$$

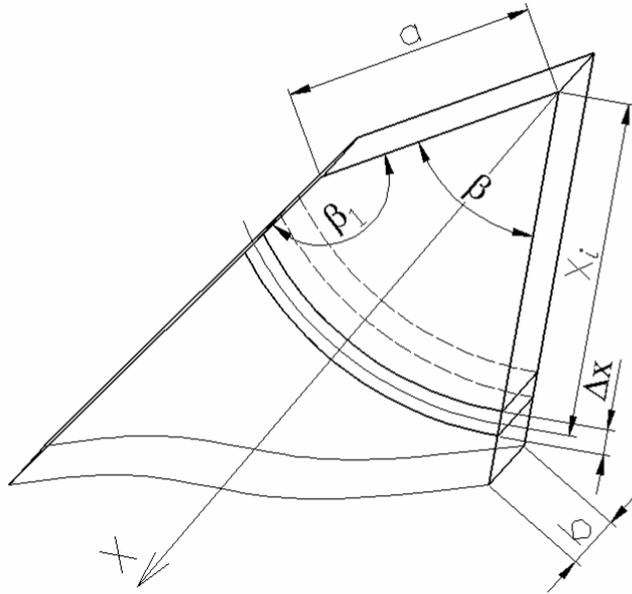


Рисунок 1 – Схема разбивки зуба по высоте на участки

$$\text{для } a \leq x_i \leq h \quad F_i = 2\Delta x \left( \frac{\pi x_i \left( \beta - \left[ 180 - \beta_1 - \arcsin \left( \frac{a \cdot \sin \beta_1}{x_i} \right) \right] \right)}{180} + b \right), \quad (6)$$

где  $\Delta x$  – ширина кольцевого участка, м;  
 $x_i$  – расстояние от вершины зуба до рассматриваемого участка, м;  
 $\beta$  – угол заострения зуба, град.;  
 $\beta_1$  – вспомогательный угол, град.;  
 $a$  – длина задней грани зуба, м;  
 $b$  – толщина зуба (пильного диска), м;  
 $h$  – высота зуба в направлении биссектрисы угла заострения  $\beta$ , м.  
 Подставив выражения (1) и (6) в формулу (4), получим

$$Q_{OKP} = z\Delta t_0 \left[ \frac{2\Delta x \alpha_{cp}}{e^{-\frac{m\rho}{\sin \beta/2}} U \left( 0,5(1+\nu); 1; \frac{2m\rho}{\sin \beta/2} \right)} \times \right. \\ \left. \times \sum_{i=1}^n e^{-mx_i} U(0,5(1+\nu); 1; 2mx_i) \left( \frac{\pi x_i \left( \beta - \left[ 180 - \beta_1 - \arcsin \left( \frac{a \cdot \sin \beta_1}{x_i} \right) \right] \right)}{180} + b \right) \right]. \quad (7)$$

Выражение в квадратных скобках формулы (7) обозначим как  $\alpha_z$ , Вт/°С. Тогда

$$Q_{\text{ОКР}} = z \Delta t_0 \alpha_z. \quad (8)$$

Величина  $\alpha_z$  называется **среднеинтегральным коэффициентом теплоотдачи зуба пилы**. Она численно равна количеству теплоты, передаваемой зубом пилы в окружающую среду при повышении температуры резания на 1 °С в установившемся тепловом режиме.

Рассмотрим пример расчета среднеинтегрального коэффициента теплоотдачи зуба круглой пилы (ГОСТ 980-80 тип 1, исполнение 1) диаметром  $D = 500$  мм, толщиной  $b = 2,5$  мм, числом зубьев  $z = 60$ , при принятом коэффициенте теплопроводности материала зуба  $\lambda = 37,8$  Вт/(м °С). Частота вращения пилы  $n = 3000$  мин<sup>-1</sup> ( $\omega = 314$  рад/с).

Для данной пилы, согласно [3] шаг зубьев  $t_z = 26,2$  мм, высота зуба составит  $h \approx 0,5t_z \approx 13$  мм, длина задней грани зуба  $a \approx 0,4t_z \approx 10,5$  мм, угол заострения  $\beta = 40^\circ$ , угол  $\beta_1 \approx 165^\circ$ . Радиус затупления лезвия принимаем  $\rho = 10$  мкм.

Условно зуб разбиваем на  $n = 13$  кольцевых участков (рисунок 1), шириной  $\Delta x = 1$  мм. Подставим значения  $\lambda_f$ ,  $\omega$ ,  $r$  и  $v_f$  в формулу (3) и определим средний коэффициент теплоотдачи зуба пилы

$$\alpha_{cp} = 0,0287 \frac{2,59 \cdot 10^{-2} \cdot 314^{0,8} \cdot 0,25^{0,6}}{(15,06 \cdot 10^{-6})^{0,8}} = 231,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}).$$

Коэффициенты  $m$  и  $\nu$  для принятых значений  $\alpha_{cp}$ ,  $\lambda$ ,  $b$  и  $\beta$  соответственно по формулам (2) будут равны

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot 231,9}{37,8 \cdot 0,0025}} = 70,05; \quad \nu = \frac{180 \cdot 0,0025}{3,14 \cdot 40} 70,05 = 0,2508.$$

Первый аргумент гипергеометрической функции  $U$  равен  $0,5(1+\nu) = 0,5(1+0,2508) = 0,6254$ .

Постоянную часть выражения  $\alpha_z$  обозначим через  $P$ . Она будет равна

$$P = \frac{2\Delta x \alpha_{cp}}{e^{\frac{m\rho}{\sin \beta/2}} U\left(0,5(1+\nu); 1; \frac{2m\rho}{\sin \beta/2}\right)} = \frac{2 \cdot 0,001 \cdot 231,9}{2,71828^{\frac{70,05 \cdot 0,00001}{\sin 20^\circ}} 4,052} = 0,1147.$$

Переменную часть выражения  $\alpha_z$  обозначим через  $S$

$$S = \sum_{i=1}^n e^{-mx_i} U(0,5(1+\nu); 1; 2mx_i) \left( \frac{\pi x_i \left( \beta - \left[ 180 - \beta_1 - \arcsin\left(\frac{a \cdot \sin \beta_1}{x_i}\right) \right] \right)}{180} + b \right).$$

Результаты расчета переменной части выражения  $\alpha_z$  приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет среднеинтегрального коэффициента теплоотдачи зуба пилы

i	$x_i$ , мм	$x_i$ , м	$z = x \cdot m$	$e^{-z}$	$U(0,6254;1;2z)$	$\Delta t_i$	$S_i$
0	0,0292	$2,92 \cdot 10^{-5}$	0,0020	0,998	4,052	1,000	-
1	0,5	0,0005	0,0350	0,966	2,167	0,517	0,0059612
2	1,5	0,0015	0,105	0,900	1,525	0,339	0,0048689
3	2,5	0,0025	0,175	0,839	1,258	0,261	0,0044838
4	3,5	0,0035	0,245	0,783	1,097	0,212	0,0042442
5	4,5	0,0045	0,315	0,730	0,984	0,178	0,0040506
6	5,5	0,0055	0,385	0,680	0,900	0,151	0,0038803
7	6,5	0,0065	0,455	0,634	0,833	0,131	0,0037189
8	7,5	0,0075	0,525	0,591	0,779	0,114	0,0035624
9	8,5	0,0085	0,596	0,551	0,733	0,100	0,0034094
10	9,5	0,0095	0,666	0,514	0,694	0,088	0,0032593
11	10,5	0,0105	0,736	0,479	0,661	0,078	0,0031123
12	11,5	0,0115	0,806	0,447	0,631	0,070	0,0028932
13	12,5	0,0125	0,876	0,417	0,605	0,062	0,0026934

$$\Sigma S_i = 0,0502$$

Переменная часть выражения  $\alpha_Z$  составит  $S = 0,0502$ , а среднеинтегральный коэффициент теплоотдачи зуба пилы будет равен

$$\alpha_Z = P \cdot S = 0,1147 \cdot 0,0502 = 5,75 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/}^\circ\text{С.}$$

В таблице 1 расчеты выполнены для относительных температур по высоте зуба, т.е. их долей от значения температур вершины зуба  $t_0$ , принятой за 1.

Для принятого диапазона значений параметров  $\alpha_{cp}$ ,  $\beta$ ,  $h$ ,  $b$ ,  $\beta_1$  и  $a$ , влияющих на величину среднеинтегрального коэффициента теплоотдачи зуба пилы  $\alpha_Z$ , её аналитическая зависимость из формулы (7) аппроксимирована.

Зависимость  $\alpha_Z$  от высоты зуба  $h$  аппроксимирована полиномом 3-ей степени, а влияние остальных параметров  $\alpha_{cp}$ ,  $\beta$ ,  $b$ ,  $\beta_1$  и  $a$  аппроксимировано степенной функцией

$$\alpha_Z = 10^{-8} b^{0,7257} \beta^{0,5063} \alpha_{cp}^{0,6385} \beta_1^{0,0715} a^{0,0755} (0,014h^3 - 1,82h^2 + 82,79h + 20,05), \quad (9)$$

где  $b$  – толщина зуба (пильного диска), мм;

$\beta$  – угол заострения зуба, град.;

$\alpha_{cp}$  – коэффициент теплоотдачи зуба в окружающую среду, Вт/(м<sup>2</sup> °С);

$\beta_1$  – вспомогательный угол, град.;

$a$  – длина задней грани зуба, мм;

$h$  – высота зуба в направлении биссектрисы угла заострения  $\beta$ , мм.

Разработанная зависимость (9) позволяет определять среднеинтегральные коэффициенты теплоотдачи зуба, не прибегая к сложному математическому аппарату. Коэффициент корреляции  $r = 0,976$ .

Таким образом, зная температуру резания, среднеинтегральный коэффициент теплоотдачи зуба  $\alpha_Z$  и число зубьев  $Z$ , по формуле (8) можно рассчитать количество теплоты, отводимое режущей частью пилы в окружающую среду теплоотдачей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конов В.Н. Исследование влияния тепловых явлений на работоспособность круглых пил: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 13.00.01/ Конов Виктор Николаевич; ЛТА. – Л., 1979, – 26 с.
2. Пашков В.К. Тепловое поле вращающегося охлаждаемого диска пилы / В.К. Пашков, А.С. Красиков // Деревообрабатывающие станки, инструменты и вопросы резания древесины. – Л.: ЛТА, 1984, С. 48 – 51.
3. Библиографическое описание документа: ГОСТ 980-80. – Взамен ГОСТ 980-69; введ. 01.01.1982. – М., 1999. – 25 с.

## ОБ ОЦЕНКЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ПИЛЕНИИ КРУГЛЫМИ ПИЛАМИ

Щепочкин С.В. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [art-sit@yandex.ru](mailto:art-sit@yandex.ru)

### ABOUT AN ESTIMATION OF CUTTING TEMPERATURE AT SAWING BY CIRCULAR SAWS

Установление законов распределения и численных значений температур на контактных поверхностях инструмента важная задача теплофизики резания. С этими законами связаны износ и стойкость режущих кромок и поверхностей лезвия, термические напряжения в инструменте, область режимов, при которых целесообразно использовать инструментальные материалы с той или иной степенью температурной устойчивости.

Под температурой резания понимается температура на контактных поверхностях инструмента при резании при установившемся теплообмене.

Для определения температуры резания необходимо знать количество теплоты, поступающей по зонам круглой пилы в процессе резания. Выделим две таких зоны (рисунок 1). Первая – режущая часть (зубья пилы), вторая – пильный диск (без зубьев).

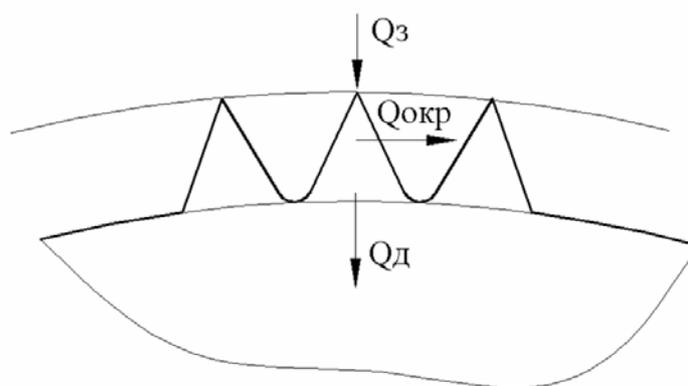


Рисунок 1 – Схема тепловых потоков по зонам круглой пилы

На рисунке 1 обозначено:  $Q_3$  – теплота, поступающая в инструмент через зубья, Вт;  $Q_d$  – теплота, поступающая в диск от режущей части, Вт;  $Q_{окр}$  – теплота, передающаяся в окружающую среду от зубьев конвективной теплоотдачей, Вт.

Теплоотдачей излучением пренебрегаем, т.к. потеря тепла лезвиями зубьев от лучеиспускания не превышает, по данным работы [1], 1 – 1,5 % от общего количества тепла, поступающего в инструмент, и участвующего в теплообменных процессах с окружающей средой.

Распределение теплоты в процессе резания определяется уравнением теплового баланса. Для установившегося режима баланс теплоты для данного инструмента выглядит следующим образом

$$Q_3 = Q_{окр} + Q_d. \quad (1)$$

Теплота, поступающая в инструмент  $Q_3$  может быть определена из выражения

$$Q_3 = N_{рез} K_1, \quad (2)$$

где  $N_{рез}$  – мощность резания, Вт;

$K_1$  – коэффициент доли мощности на резание, идущей на нагрев инструмента,  $K_1 = 0,025 \dots 0,35$  [2].

Теплота, передающаяся в окружающую среду от зубьев конвективной теплоотдачей определяется по формуле

$$Q_{окр} = z t_0 \alpha_z, \quad (3)$$

где  $z$  – число зубьев пилы;

$t_0$  – температура резания, °С;

$\alpha_z$  – среднеинтегральный коэффициент теплоотдачи зуба пилы, Вт/°С.

Среднеинтегральный коэффициент теплоотдачи зуба пилы  $\alpha_z$  численно равен количеству теплоты, передаваемой зубом пилы в окружающую среду при повышении температуры резания на 1 °С в установившемся тепловом режиме, и может быть определен из выражения

$$\alpha_z = 10^{-8} b^{0,7257} \beta^{0,5063} \alpha_{cp}^{0,6385} \beta_1^{0,0715} a^{0,0755} (0,014h^3 - 1,82h^2 + 82,79h + 20,05), \quad (4)$$

где  $b$  – толщина зуба (пильного диска), мм;

$\beta$  – угол заострения зуба, град.;

$\alpha_{cp}$  – коэффициент теплоотдачи зуба в окружающую среду, Вт/(м<sup>2</sup> °С);

$\beta_1$  – вспомогательный угол, град.;

$a$  – длина задней грани зуба, мм;

$h$  – высота зуба в направлении биссектрисы угла заострения  $\beta$ , мм.

Теплота, поступающая в диск  $Q_d$  определяется из выражения [3]

$$Q_d = \alpha_p \Delta T, \quad (5)$$

где  $\alpha_p$  – среднеинтегральный коэффициент теплоотдачи диска, Вт/°С;

$\Delta T$  – превышение температуры на периферии диска пилы (окружности впадин зубьев) над окружающим воздухом, °С.

Среднеинтегральный коэффициент теплоотдачи диска  $\alpha_p$  может быть определен по формуле [3]

$$\alpha_p = 1,88 \cdot 10^{-3} \cdot D^{0,96} V^{0,426} b^{0,471}, \quad (6)$$

где  $D$  – диаметр пилы, мм;

$V$  – скорость резания, м/с.

Из выражений (1), (2), (3) и (5) получим формулу для определения температуры резания

$$t_0 = \frac{N_{рез} K_1 - \alpha_\rho \Delta T}{z \alpha_z} \quad (7)$$

Для использования формулы (7) необходимо знать превышение температуры на периферии диска пилы над окружающим воздухом  $\Delta T$ . Температурный перепад  $\Delta T$  на периферии диска зависит от температуры резания  $t_0$  и может быть определен как

$$\Delta T = K_2 \cdot t_0 \quad (8)$$

где  $K_2$  – коэффициент, показывающий во сколько раз температура на периферии диска выше температуры резания,  $K_2 = 0,025 \dots 0,1$ .

Тогда окончательная формула для определения температуры резания примет вид

$$t_0 = \frac{N_{рез} K_1}{z \alpha_z + K_2 \alpha_\rho} \quad (9)$$

Рассмотрим определение температуры резания на конкретном примере: пиление круглой пилой (ГОСТ 980-80 тип 1, исполнение 1) диаметром  $D = 500$  мм, толщиной  $b = 2,5$  мм, число зубьев  $z = 60$ , частота вращения пилы  $n = 3000$  мин<sup>-1</sup>, (скорость резания составит  $V = 78,5$  м/с) коэффициент теплопроводности материала пилы  $\lambda = 37,8$  Вт/(м °С), коэффициент конвективной теплоотдачи  $\alpha = 230$  Вт/(м<sup>2</sup> °С), скорость подачи  $u = 6$  м/мин, высота пропила  $h = 50$  мм, уширение зубчатого венца на сторону  $\Delta = 0,75$  мм, нижнее положение пилы, встречная подача, порода древесины – сосна.

Для данной пилы, согласно [4] шаг зубьев  $t_z = 26,2$  мм, высота зуба составит  $h \approx 0,5t_z \approx 13$  мм, длина задней грани зуба  $a \approx 0,4t_z \approx 10,5$  мм, угол заострения  $\beta = 40^\circ$ , угол  $\beta_1 \approx 165^\circ$ . Радиус затупления лезвия принимаем  $\rho = 10$  мкм.

Для данного режима резания мощность на резание, рассчитанная по методике [5] составит  $N_{рез} = 2300$  Вт. Среднеинтегральный коэффициент теплоотдачи зуба пилы по формуле (4)

$$\alpha_z = 10^{-8} 2,5^{0,7257} 40^{0,5063} 230^{0,6385} 165^{0,0715} 10,5^{0,0755} \times \\ \times (0,014 \cdot 13^3 - 1,82 \cdot 13^2 + 82,79 \cdot 13 + 20,05) = 5,75 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/}^\circ\text{С}.$$

Среднеинтегральный коэффициент теплоотдачи диска по формуле (6)

$$\alpha_\rho = 1,88 \cdot 10^{-3} \cdot 500^{0,96} 78,5^{0,426} 2,5^{0,471} = 7,24 \text{ Вт/}^\circ\text{С}.$$

Следовательно, температура резания  $t_0$  для данного примера по формуле (9) составит

$$t_0 = \frac{2300 \cdot 0,3}{60 \cdot 5,75 \cdot 10^{-3} + 0,05 \cdot 7,24} = 975 \text{ }^\circ\text{С}.$$

Предложенная методика позволяет получить значения температур, которые не противоречат известным данным. Методика может использоваться в рекомендациях по выбору режимов работы инструмента, в которых в качестве ограничения его теплоустойчивость. Проводится экспериментальная проверка результатов теоретических исследований температурных полей зубьев круглых плоских пил.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Конов В.Н. Исследование влияния тепловых явлений на работоспособность круглых пил: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 13.00.01/ Конов Виктор Николаевич; ЛТА. – Л., 1979, – 26 с.
2. Щепочкин С.В. К вопросу о тепловых полях по зонам диска круглой пилы / С.В. Щепочкин // Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: Тез. докл. международ. науч.-техн. конф. / Урал. гос. лесотехн. ун-т – Екатеринбург, 2005. С.140.
3. Пашков В.К. Определение температурных перепадов плоских круглых пил [Электронный ресурс] / В.К. Пашков, С.В. Щепочкин // Материалы международной научно-технической Интернет конференции «ЛЕС-2006». – Режим доступа: [http://science-bsea.narod.ru/les\\_2006/pashkov\\_opredelen.htm](http://science-bsea.narod.ru/les_2006/pashkov_opredelen.htm).
4. Библиографическое описание документа: ГОСТ 980-80. – Взамен ГОСТ 980-69; введ. 01.01.1982. – М., 1999. – 25 с.
5. Стахийев Ю.М. Руководящие технические материалы по определению режимов пиления древесины круглыми пилами / Стахийев Ю.М., Пашков В.К. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1988. – 74 с.

**ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ  
КРУГЛОПИЛЬНЫХ ПРИРЕЗНЫХ СТАНКОВ**

**Сулинов В.И., Гороховский А.К.** (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

**POSSIBLE DIRECTIONS OF MODERNIZATION MACHINE TOOLS**

В отечественной промышленности наиболее широко применяются станки прирезные однопильные модели ЦДК4 и станки прирезные многопильные модели ЦДК5 ( до 7 пил ) и ЦМР ( до 10 пил ).

Данные станки применяются в мебельном столярном и других деревообрабатывающих производствах. Особенно эффективно применение этих станков в тех случаях, когда необходимо получать строго прямолинейный паз, например, для склейки без предварительной прифуговки [1].

Точность выпиливаемых деталей по критерию прямолинейности поверхности пропила не должна превышать 0,25 мм на длине 1000 мм, равномерность ширины или толщины отпиленных планок не более 0,3 мм на длине 1000 мм.

Повышенная точность прирезных станков обусловлена особенностями базирования обрабатываемых заготовок на рифленых поверхностях конвейера, траектория движения которого задается положением призматических направляющих. Таким образом, чем точнее выполнена кинематическая пара конвейер-направляющие с учетом правильного положения пильного вала и прижимных роликов, тем выше точность выпиливаемых деталей.

В процессе движения заготовка удерживается силами трения

$$F = (g + G)f_2 + gf_1,$$

где  $g$  – нормальное давление со стороны прижимных вальцов, Н;

$G$  – вес детали, Н ;

$f_2 = 0,5 \dots 0,6$  – коэффициент сцепления рифленой поверхности конвейера с древесиной;

$f_1 = 0,4$  - коэффициент трения между прижимным вальцом и заготовкой. Для надежного преодоления суммы сил сопротивления подаче заготовка должна прижиматься силами в пределах  $F = 300 \dots 500$  Н.

По правилам неподвижного базирования никакие другие силы, кроме обозначенных выше, в процессе движения заготовки проявляться не должны.

На самом деле мы видим, что со стороны направляющей линейки на заготовку также могут действовать (обычно не учитываемые) силы бокового давления. Объясняется это тем, что направляющая линейка представляет собой еще одну самостоятельную базу, совпадение которой по вектору движения с основной базой – направляющие конвейера – практически обеспечить невозможно.

С другой стороны, базовая кромка обрабатываемой заготовки также имеет допустимые отклонения. Например, кромки обрезных досок после лесопильной рамы могут иметь непрямолинейность до 1 мм/ 1000 мм.

В процессе начального движения заготовка ориентируется на направляющей линейке. Затем, после входа переднего торца заготовки под прижимные ролики начинает происходить неизбежное перебазирование заготовки, которое целиком зависит от конкретного уровня неточности в системе конвейер, деталь и линейка.

При этом уровень боковых смещающих заготовку сил может достигать значительных величин, сравнимых с силами, определяемых формулой.

Поэтому одним из возможных направлений модернизации прирезных станков может быть изменение функции направляющей линейки. Например, оставить за линейкой функции ориентирующего элемента в момент начального базирования детали. Затем после того, как заготовка начинает перемещение по закону движения конвейера, направляющая линейка отодвигается на 3...4 мм от заготовки до момента пока ее задний торец не пройдет передний прижим. Перед входом очередной заготовки линейка должна занять свое исходное положение.

Реализация модернизации в данном направлении поможет снизить неравномерность износа текстолитовых направляющих, о чем указывается в работе [2].

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Манжос Ф.М. Дереворежущие станки. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 454с.
2. Амалицкий В.В., Комаров Г.А. Монтаж и эксплуатация деревообрабатывающего оборудования. М.: Лесн. пром-сть, 1989, 400 с.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ АСПИРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ЦЕХА

Глебов И.Т., Глебов В.В. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [GIT5@yandex.ru](mailto:GIT5@yandex.ru)

### **DESIGNING MODERN OF SYSTEMS ASPIRATSII OF WOODWORKING SHOPS**

Аспирационная система деревообрабатывающего цеха предназначена для создания нормативных санитарно-гигиенических условий труда на рабочих местах у станков. С помощью аспирационной установки от станков удаляются стружки, пыль и создаются нормативные санитарно-гигиенические условия труда.

Аспирационные установки бывают автономные и централизованные, прямоточные и рециркуляционные. До недавнего времени на деревообрабатывающих предприятиях России устанавливались и эксплуатировались преимущественно централизованные прямоточные аспирационные установки с циклонами. При работе таких установок пылевоздушная смесь, отсасываемая вентилятором от станков, подается в циклон, установленный на бункере для древесных частиц. При этом древесные частицы попадают в бункер, а воздух, очищенный в циклоне от пыли, выбрасывается в атмосферу [1].

Прямоточные централизованные аспирационные установки с циклоном имеют ряд существенных недостатков. Во-первых, они очищают пылевоздушную смесь от пыли только на 70...90% и, выбрасываемый в атмосферу воздух, загрязняет окружающую среду. Во-вторых, в зимнее время года огромные потоки теплого воздуха выбрасываются из цеха на улицу, а в цех поступает холодный воздух, который предварительно надо подогреть. Это делает аспирационную систему цеха чрезвычайно энергоемкой в зимнее время года.

В последнее десятилетие в нашей стране стали широко внедряться аспирационные системы централизованные рециркуляционные. В таких аспирационных установках пылевоздушная смесь, удаляемая от станков, очищается рукавными фильтрами (степень очистки до 99,9%) и возвращается обратно в цех. При проектировании таких аспирационных установок возникла необходимость решения ряда практических задач:

- разработки метода расчета рукавных фильтров;
- выбора рационального способа возврата очищенного воздуха в цех к станкам, предотвращая образование сквозняков в цехе;
- выбор рациональной конструкции фильтра, удобной для его эксплуатации и ремонта.

На кафедре станков и инструментов Уральского государственного лесотехнического университета ведется работа по решению указанных задач.

На рисунке 1 схематично показан пример поперечного разреза цеха.

Аспирационная система содержит стены 1 и крышу 2 цеха, деревообрабатывающие станки 3, всасывающие воздуховоды 4, подсоединенные к коллектору-сборнику 5, который соединен воздуховодом 6 с вентилятором 7, смонтированным за стеной цеха. Вентилятор соединен воздуховодом с бункером-накопителем древесных частиц 8.

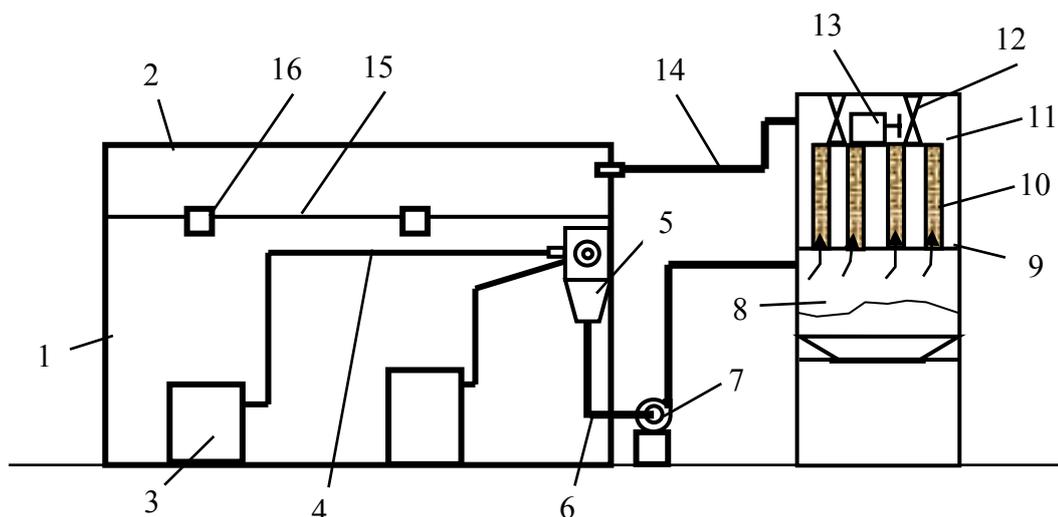


Рисунок 1 – Схема централизованной рециркуляционной аспирационной системы деревообрабатывающего цеха

На верхней перегородке 9 бункера установлены тканевые рукавные фильтры 10, верхние концы которых закреплены на решетке 11, подвешенной на перекрытии бункера на цепях 12. На решетке установлен вибратор 13. Верхняя зона бункера соединена с цехом воздуховодом 14, который входит в цех в пространство, образованное крышей цеха и дополнительным потолком 15, в котором выполнены отверстия 16, расположенные над станками 3 [2].

Система работает следующим образом. Образовавшиеся древесные частицы (опилки, стружка, щепы и т.д.) под воздействием воздушного напора, созданного вентилятором 7, отсасываются от станков и перемещаются по воздуховодам 4 в коллектор-сборник 5, а из него выносятся из цеха и через вентилятор по воздуховоду попадают в бункер-накопитель 8. Крупные частицы оседают на дне бункера, а запыленный воздух устремляется в рукавные тканевые фильтры 10. Пройдя через стенки рукавов, воздух очищается от пыли, пыль задерживается на внутренних стенках рукавов. Через каждые час работы рукава встряхиваются вибратором 13 и очищаются от налипшей пыли. Древесные частицы, накопившиеся на дне бункера, выгружаются через нижний люк в автомобильный транспорт и увозятся. Очищенный воздух возвращается по воздуховоду 14 обратно в цех.

В цехе воздух отсасывается от станков, в зоне станков образуется разрежение. В зону разрежения воздух устремляется из отверстий 16. Путь движения струи воздуха в рабочем пространстве цеха сокращен до минимума и измеряется расстоянием от потолка до станка. При этом путь струи не пересекается с рабочей зоной рабочего и рабочий не подвержен действию сквозняков.

Таким образом, предложенная схема возврата очищенного теплого воздуха к станкам позволяет уменьшить сквозняки в цехе при работающей аспирационной установке.

**Расчет рукавных фильтров.** Гидравлическое сопротивление рукавного фильтра  $\Delta p$  можно определить по следующей формуле, Па:

$$\Delta p = \frac{\Delta p_{y\partial} Q}{S},$$

где  $\Delta p_{y\partial}$  – удельное гидравлическое сопротивление, Па·ч/м, для тканевых рукавных фильтров можно принять  $\Delta p_{y\partial} = 10 - 15$  Па·ч/м;

$Q$  – производительность фильтра по воздуху, м<sup>3</sup>/ч;

$S$  – площадь фильтрации рукавов, м<sup>2</sup>.

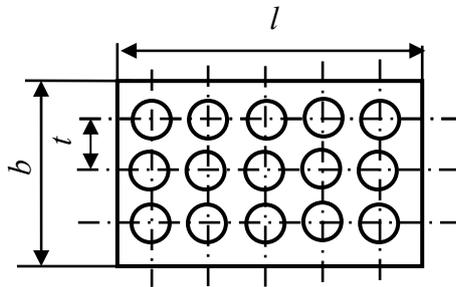


Рисунок 2 – Схема размещения рукавов в блоке фильтра

При расчете задаются значением  $\Delta p$  в пределах от 900 до 1200 Па. Из предложенной формулы находят площадь фильтрации рукавов. Затем задаются диаметром рукава (120-140 мм) и длиной (обычно 1,5...2,0 м). Находят поверхность одного рукава, а затем – количество рукавов.

Все рукава следует распределить по блокам. В зависимости от производительности аспирационной системы количество блоков можно принять от 2 до 4 и более. На рисунке 2 предлагается схема размещения рукавов в блоке фильтра. В каждом блоке должно быть одинаковое количество рукавов. В связи с этим количество рукавов может быть увеличено. Окончательно уточняется площадь фильтров и их гидравлическое сопротивление.

**Пример.** Аспирационная система цеха имеет производительность по воздуху  $Q = 21000$  м<sup>3</sup>/ч, размеры тканевого рукава: диаметр  $d = 150$  мм, длина  $l = 2$  м, удельное гидравлическое сопротивление ткани рукава  $\Delta p_{y\partial} = 10$  Па·ч/м.

Определить гидравлическое сопротивление фильтра.

*Решение.* 1. Задаемся возможной величиной гидравлического сопротивления фильтра  $\Delta p = 1300$  Па.

2. Находим необходимую площадь фильтрации

$$S = \frac{\Delta p_{y\partial} Q}{\Delta p} = \frac{10 \cdot 21000}{1300} = 161,5 \text{ м}^2.$$

3. Определим поверхность фильтрации одним рукавом

$$s_1 = \pi dl = 3,14 \cdot 0,15 \cdot 2 = 0,942 \text{ м}^2.$$

4. Необходимое количество рукавов

$$n = S / s_1 = 161,5 / 0,942 = 171,4 \text{ шт.}$$

5. Принимаем фильтр, состоящий из 6 блоков по 30 рукавов в каждом блоке. Тогда потребуется 180 рукавов с площадью фильтрации  $S_\phi = 0,942 \times 180 = 169,56 \text{ м}^2$ .

Уточненное гидравлическое сопротивление рукавного фильтра, используемое в расчете аспирационной системы

$$\Delta p = \frac{\Delta p_{y\partial} Q}{S_\phi} = \frac{10 \cdot 21000}{169,56} = 1238,5 \text{ Па.}$$

Для расчета параметров аспирационной системы разработана компьютерная программа, применяемая в учебном процессе.

Деление фильтра на несколько блоков позволяет ремонтировать и заменять тканевые рукава без остановки цеха. При этом каждый блок поочередно может быть извлечен для осмотра и ремонта из фильтра и на его место ставится заслонка.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глебов И.Т., Рысев В.Е. Аспирационные и транспортные системы деревообрабатывающих предприятий. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2004. – 180 с.
2. Глебов И.Т., Глебов В.В. Цех с аспирационной системой// Патент на полезную модель, заявка № 2006112972/22(014111) от 17.04.2006.

## РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Глебов И.Т. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ), GIT5@yandex.ru

### *CALCULATION OF MODES OF CYLINDRICAL MILLING*

В теории резания древесины известно несколько расчетных методов, отличающихся по точности от среднего значения на -17% ... +19%. Проблема повышения точности расчетов остается острой. Повышение точности расчетов зависит от точности понимания и описания физических процессов резания древесины.

Важнейшим критерием оценки режима резания является энергоемкость процесса, зависящая от диаметра фрезы.

В предлагаемой статье описан метод расчета режимов резания и выбора диаметра фрезы.

### **Силы резания. Мощность на фрезерование**

Известно, что единичную касательную силу резания для макрослоев (толщина срезаемого слоя больше 0,1 мм) можно определить по формуле

$$F_{x1} = p + ka, \quad (1)$$

где  $p$  – фиктивная сила резания, Н/мм;

$k$  – касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия, МПа;

$a$  – толщина срезаемого слоя, мм.

С учетом породы древесины, ее влажности и степени затупления лезвий режущего инструмента формулы для касательной силы резания можно записать так:

для макрослоев ( $a \geq 0,1$  мм)

$$F_{x \text{ зуб}} = a_n a_w [\alpha_\rho p + ka_c] b, \quad (2)$$

для микрослоев ( $a \leq 0,1$  мм) [1]

$$F_{x \text{ зуб.м}} = a_n a_w [\alpha_\rho p + 0,1k] \left( -\frac{1}{\lambda} a_c^2 + \frac{0,2}{\lambda} a_c + 1 - \frac{0,01}{\lambda} \right) b, \quad (3)$$

где  $a_n$  – коэффициент на породу древесины;

$a_w$  – коэффициент на влажность древесины;

$\alpha_\rho$  – коэффициент затупления режущей кромки лезвия;

$b$  – ширина срезаемого слоя, мм;

$\lambda$  – коэффициент:  $\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01$ ; здесь радиус закругления режущих кромок лезвий подставляется в мм;  $\rho = \rho_0 + \Delta\rho$ .

Коэффициент затупления находится из выражения [2]

$$\alpha_p = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_p}{\rho_o + 50}, \quad (4)$$

где  $k$  – касательное давление стружки на переднюю поверхность лезвия при фрезеровании древесины сосны, МПа;

$p$  – фиктивная сила резания при фрезеровании сосны, Н/мм;

$\Delta_p$  – величина затупления режущей кромки, мкм;

$\rho_o$  – радиус закругления режущей кромки острого лезвия;  $\rho_o = 4 \dots 6$  мкм.

Фиктивная сила резания при фрезеровании сосны  $p$ , Н/мм:

$$p = 1,565 + 0,0353(\varphi_k/2). \quad (5)$$

Касательное давление стружки на переднюю поверхность зуба для продольно-торцового резания древесины сосны, МПа:

$$k = (0,196 + 0,00392 \varphi_k/2)\delta + (0,0686 + 0,00147 \varphi_k/2)V' - (5,39 + 0,147 \varphi_k/2), \quad (6)$$

где  $\varphi_k$  – угол контакта режущей кромки с заготовкой, град;

$\delta$  – угол резания зуба, град;

$V'$  – условная скорость резания, м/с, причем если  $V < 50$  м/с, то  $V' = (90 - V)$ , иначе  $V' = V$ , где  $V$  – скорость главного движения.

На дуге контакта фрезы с заготовкой может находиться количество зубьев не равное единице, поэтому средняя касательная сила резания за оборот фрезы (окружная сила резания) будет

$$F_x = F_{x \text{ зуб}} \frac{l}{t_3}, \quad (7)$$

где  $l$  – длина дуги контакта, мм;

$t_3$  – шаг зубьев фрезы, мм;  $t_3 = \frac{\pi D}{z}$ , где  $D$  – диаметр окружности резания фрезы,

мм;  $z$  – количество зубьев фрезы.

Мощность фрезерования  $P$ , кВт:

$$P = \frac{F_x V}{1000}, \quad (8)$$

где  $V$  – скорость главного движения, м/с.

### Решение обратной задачи

При решении обратных задач из формул (2), (3) находят значение средней толщины срезаемого слоя. В уравнении (3) обозначим:

$$F_{x0,1} = \alpha_p p + 0,1k;$$

$$m_1 = \left(-\frac{1}{\lambda} a_c^2 + \frac{0,2}{\lambda} a_c + 1 - \frac{0,01}{\lambda}\right). \quad (9)$$

Тогда 
$$m_1 = \frac{F_{x \text{ зуб}}}{a_n a_w b F_{x0,1}}.$$

Таким образом, коэффициент  $m_1$  представляет собой отношение текущего значения силы резания к силе резания при  $a_c = 0,1$  мм. Если  $m_1 = 1$ , то  $a_c = 0,1$  мм. Если  $m_1 > 1$ , то толщина срезаемого слоя  $a_c$  находится в диапазоне макрослоя и определяется по формуле для макрослоев; при  $m_1 < 1$ , толщина срезаемого слоя  $a_{cm}$  находится по формуле для микрослоев.

При  $a_c \geq 0,1$  мм

$$a_c = \frac{F_{хзуб} - \alpha_\rho p}{a_n a_w b k}. \quad (10)$$

Используя выше принятые обозначения, выражение (9) для микрослоев запишем в форме приведенного полного квадратного уравнения

$$a_c^2 - 0,2a_c + [0,01 + \lambda(m-1)] = 0.$$

После решения этого уравнения получим выражение для толщины срезаемого слоя  $a_{cm}$  для микрослоев ( $a_c \leq 0,1$  мм):

$$a_{cm} = 0,1 - \sqrt{\lambda(1 - m_1)}. \quad (11)$$

Радиальная составляющая силы резания  $F_z$ , Н:

при  $a_c \geq 0,1$  мм

$$F_z = [0,5\alpha_\rho^2(\alpha_\rho p + 0,1k) \frac{\rho}{\rho + 50} - k(a_c - 0,1) \operatorname{tg}(90^\circ - \delta - \varphi)] a_n a_w b \frac{l}{t_3}, \quad (12)$$

при  $a_c < 0,1$  мм

$$F_z = a_n a_w b \frac{l}{t_3} 0,5\alpha_\rho^2 [\alpha_\rho p + 0,1k] \frac{\rho}{\rho + 50}, \quad (13)$$

где  $\rho$  – в мкм.

### Пример решения обратной задачи

**Дано.** Проектируется новый рейсмусовый станок для обработки заготовок из древесины сосны шириною  $b = 100$  мм и влажностью  $W = 10\%$ . Диаметр окружности резания ножевого вала  $D = 128$  мм, частота вращения вала  $n = 5000$  мин<sup>-1</sup>, число ножей  $z = 4$ , угол резания ножей  $\delta = 65^\circ$ . Период стойкости ножей  $T = 240$  мин, шероховатость обработанной поверхности  $R_m = 100$  мкм, глубина фрезерования  $t = (2; 4; 5; 6)$  мм. Ширина стола  $b_c = 630$  мм.

Конструктивная скорость подачи  $V_{sk} \leq 36$  м/мин.

С учетом аналогов принята мощность электродвигателя механизма главного движения  $P = 7$  кВт, КПД передачи  $\eta = 0,94$ .

**Определить** скорости подач и построить график скоростей подач.

**Решение.** 1. Скорость главного движения

$$V = \pi D n / 60000 = 3,14 \cdot 128 \cdot 5000 / 60000 = 33,51 \text{ м/с.}$$

2. Угол контакта режущей кромки с заготовкой для  $t = (2; 4; 5; 6)$  мм:

$$\varphi_k = 115\sqrt{t/D} = 115\sqrt{2/128} = 14,375^\circ.$$

Результаты расчетов представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

3. Длина дуги контакта  $l_k = \sqrt{tD} = \sqrt{2 \cdot 128} = 16,0$  мм.

Таблица 1 – Результаты расчетов

Параметры	Обозначение	Размерность	Глубина фрезерования $t$ , мм			
			2	4	5	6
Скорость резания	$V$	м/с	33,51	33,51	33,51	33,51
Угол контакта	$\varphi_k$	град	14,38	20,33	22,73	24,90
Длина дуги контакта	$l_k$	мм	16,0	22,6	25,3	27,7
Подача на зуб по шероховатости	$S_{z1}$	мм	1,8	1,8	1,8	1,8
Прирост затупления	$\Delta\rho$	мкм	12,03	17,01	19,02	20,83
Фиктивная сила резания	$p$	Н/мм	1,82	1,92	1,97	2,0
Касательное давление	$k$	МПа	12,6	13,2	13,4	13,6
Коэффициент затупления	$\alpha\rho$	–	1,37	1,52	1,58	1,64
Окружная сила резания	$F_{xo}$	Н	196,4	196,4	196,4	196,4
Средняя сила резания на дуге контакта	$F_{xзуб}$	Н	1233,8	872,4	780,3	712,3
Средняя толщина среза при						
$b = 100$ мм	$a_c$	мм	0,78	0,44	0,35	0,28
$b = 200$ мм	$a_c$	мм	0,29	0,11	0,06	0,04
$b = 300$ мм	$a_c$	мм	0,13	0,03	0,02	0,01
Подача на зуб по мощности при						
$b = 100$ мм	$S_{z2}$	мм	6,25	2,49	1,77	1,31
$b = 200$ мм	$S_{z2}$	мм	2,34	0,62	0,29	0,18
$b = 300$ мм	$S_{z2}$	мм	1,03	0,18	0,10	0,06
Расчетная подача на зуб при						
$b = 100$ мм	$S_{zp}$	мм	1,80	1,80	1,77	1,31
$b = 200$ мм	$S_{zp}$	мм	1,80	0,62	0,29	0,18
$b = 300$ мм	$S_{zp}$	мм	1,03	0,18	0,10	0,06
Скорость подачи при						
$b = 100$ мм	$V_s$	м/мин	36,0	36,0	35,4	26,2
$b = 200$ мм	$V_s$	м/мин	36,0	12,4	5,8	3,6
$b = 300$ мм	$V_s$	м/мин	20,6	3,6	2,0	1,1

4. Подача на зуб с ограничением по шероховатости. Длина волны по заданной шероховатости  $l_g = S_z z = 7,3$  мм выбирается по таблице 28 [2]. Подача на зуб  $S_z = l_g / z = 7,3 / 4 = 1,825$  мм.

5. Прирост затупления лезвий за время работы

$$\Delta\rho = \gamma_{\Delta} l_{\kappa} n T K_n K_u / 1000 = 0,0008 \cdot 16,0 \cdot 5000 \cdot 240 \cdot 0,9 \cdot 0,9 / 1000 = 12,02 \text{ мкм.}$$

6. Фиктивная сила резания

$$p = 1,565 + 0,0353(\varphi_{\kappa}/2) = 1,565 + 0,0353 \cdot 14,375 / 2 = 1,82 \text{ Н/мм.}$$

7. Касательное давление стружки на переднюю грань

$$k = (0,196 + 0,00392 \varphi_{\kappa}/2)\delta + (0,0686 + 0,00147 \varphi_{\kappa}/2)(90 - V) - (5,39 + 0,147 \varphi_{\kappa}/2) = (0,196 + 0,00392 \cdot 14,38/2)65 + (0,0686 + 0,00147 \cdot 14,38/2)(90 - 33,49) - (5,39 + 0,147 \cdot 14,38/2) = 12,6 \text{ МПа.}$$

8. Коэффициент затупления

$$\alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta\rho}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{12,6}{1,82}) \frac{12,03}{5 + 50} = 1,37.$$

9. Окружная касательная сила резания

$$F_{x0} = 1000 P \eta / V = 1000 \cdot 7 \cdot 0,94 / 33,51 = 196,4 \text{ Н.}$$

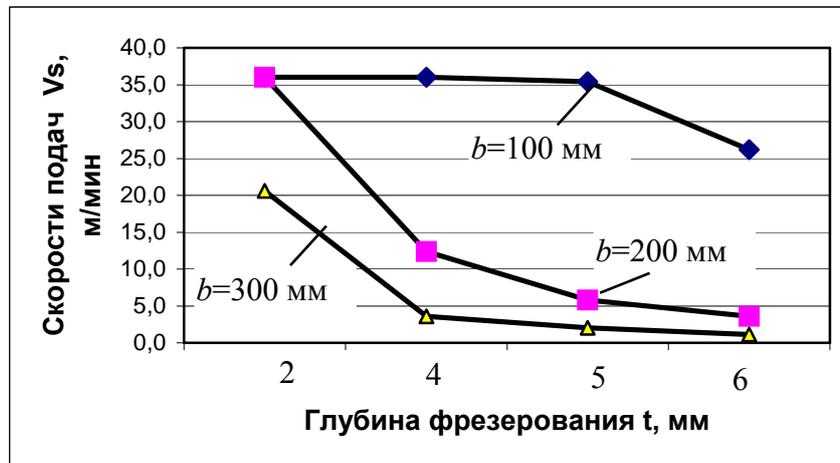


Рисунок 1– График скоростей подачи продольно-фрезерного станка

10. Средняя сила резания на дуге контакта

$$F_{xзуб} = F_{x0} \pi D / (l_{\kappa} z) = 196,4 \cdot 3,14 \cdot 128 / (16 \cdot 4) = 1233,8 \text{ Н.}$$

11. Средняя толщина срезаемого слоя при подаче по одной заготовке ( $b = 100 \text{ мм}$ ).

Коэффициенты

$$\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01; \rho = \rho_o + \Delta\rho; \rho - \text{в мм.}$$

$$\lambda = (0,005 + 0,0123)^2 + 0,2(0,005 + 0,0123) + 0,01 = 0,01369;$$

$$F_{x0,1} = \alpha_{\rho} p + 0,1k = 1,37 \cdot 1,82 + 0,1 \cdot 12,6 = 3,75 \text{ Н/мм;}$$

$$m_1 = \frac{F_{x \text{ зуб}}}{a_n a_w b d} = \frac{1233,8}{1 \cdot 1 \cdot 100 \cdot 3,75} = 3,3.$$

Так как  $m_1 > 1$ , то толщина срезаемого слоя  $a_c$  определяется по формуле для макрослоев

$$a_c = \frac{F_{xзуб} - \alpha_{\rho} p}{a_{\Pi} a_w b} = \frac{1233,8 - 1,37 \cdot 1,82}{1 \cdot 1 \cdot 100} = 0,78 \text{ мм.}$$

При срезании микрослоев толщина срезаемого слоя находится по формуле (для  $b = 200$  мм и  $t = 6$  мм)

$$a_{cm} = 0,1 - \sqrt{\lambda(1 - m_1)} = 0,1 - \sqrt{0,0158(1 - 0,77)} = 0,04 \text{ мм.}$$

12. Подача на зуб, ограниченная мощностью привода:

$$S_{z2} = a_c / \sqrt{t/D} = 0,78 / \sqrt{2/128} = 6,25 \text{ мм.}$$

За расчетную подачу на зуб принимается наименьшее значение из подач с ограничениями по шероховатости и мощности привода.

13. Скорость подачи

$$V_s = S_{zpz} n / 1000 = 6,25 \cdot 4 \cdot 5000 / 1000 = 36,5 \text{ м/мин.}$$

### О выборе величины диаметра фрезы

В современной теории резания древесины нет четких рекомендаций по выбору величины диаметра фрезы. В известных исследовательских работах получены противоречивые результаты по этому вопросу. Так, по данным П. Коха затраты мощности на фрезерование древесины при работе фрезой диаметром 228 мм на 3,37-10,8 % больше, чем при работе фрезой диаметром 194 мм.

В расчетной формуле мощности на фрезерование древесины Грубе А.Э., Санева В.И. значение диаметра фрезы входит в значение скорости главного движения  $v^{-0,37}$ . Из формулы следует, чем больше диаметр фрезы, тем меньше мощность на фрезерование [3].

Цилиндрическое фрезерование имеет совпадающие признаки с пилением древесины круглыми пилами. По мнению автора для пиления древесины предпочтительнее брать пилу большего диаметра и работать ее центральной зоной. В этом случае заметно уменьшаются длины дуг контакта зубьев с заготовкой, а увеличение фиктивной силы и касательного давления на переднюю поверхность лезвий незначительно.

Надо выбирать режим резания так, чтобы длина дуги контакта режущего инструмента с заготовкой была минимальной. Для цилиндрического фрезерования это возможно при работе фрезами небольшого диаметра. С уменьшением диаметра фрезы длина дуги контакта уменьшается, в результате чего износ и затупление лезвий, а также образование фаски по задним поверхностям лезвий, замедляется. Лезвия дольше остаются острыми, период стойкости их увеличивается.

С другой стороны, с уменьшением диаметра фрезы увеличивается угол перерезания волокон (равен углу подачи), и это затрудняет условия срезания стружки. Резание приближается к торцовому. В результате этого фиктивная сила резания и касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвий увеличиваются.

Кроме того, с уменьшением диаметра фрезы скорость главного движения резания убывает и вызывает увеличение удельной работы резания.

Таким образом, с уменьшением диаметра фрезы на процесс фрезерования древесины одновременно действуют, по крайней мере, три фактора по разному влияющие

на динамику фрезерования. Совместное их действие может вызвать как увеличение, так и уменьшение энергозатрат на резание.

Исследование проведено на математической модели, используемой при решении прямых и обратных задач по фрезерованию древесины.

**Исходные данные.** Фрезерование выполняется на станке с шириной фрезерования 100 мм и глубиной фрезерования  $t = 2; 4; 5; 6; 10; 15; 20; 25$  мм. Диаметр фрезы  $D = 50; 80; 100; 128; 140; 200$  мм, число зубьев 4, угол резания  $65^\circ$ , частота вращения шпинделя  $5000 \text{ мин}^{-1}$ , период стойкости фрез 240 мин, коэффициент производительности станка 0,9, коэффициент использования станка 0,87, мощность электродвигателя механизма главного движения 7 кВт, КПД привода 0,94. Обрабатывается древесина сосны с влажностью 10%. Величина затупления лезвий на 1 м пути – 0,0008 мкм/м.

При решении задачи находилась максимально возможная скорость подачи при максимальной загрузке электродвигателя механизма главного движения по мощности. Результаты расчета сведены в таблице 2.

Из таблицы видно, что с увеличением диаметра фрезы при прочих одинаковых условиях возможная скорость подачи при глубине фрезерования до 4 мм увеличивается. Это означает, что с увеличением диаметра фрезы в указанном диапазоне энергозатраты на фрезерование убывают.

Таблица 2 – Максимальная скорость подачи фрезерного станка, м/мин

Диаметр фрезы, мм	Глубина фрезерования, мм							
	2	4	5	6	10	15	20	25
50	114,0	48,4	35,8	27,8	12,4	5,2	1,8	0,8
80	119,0	49,4	36,2	27,8	11,0	3,0	1,2	0,4
100	121,6	49,6	36,0	27,0	10,0	2,4	0,8	0,2
128	125,0	49,8	35,4	26,2	8,2	1,8	0,4	0
140	126,6	49,8	35,2	25,6	7,2	1,6	0,2	0
200	134,8	50,0	33,8	23,2	4,2	0,6	0	0

При глубине фрезерования более 4 мм увеличение диаметра фрезы приводит к уменьшению скорости подачи, к увеличению энергозатрат на фрезерование. Такая закономерность наблюдается для всех режимов резания при глубине фрезерования более 4 мм.

Для понимания такого процесса в таблице 3 основные параметры фрезерования и их изменение.

Основным фактором процесса фрезерования, увеличивающим энергопотребление, является затупление лезвий. Коэффициент затупления изменяется от 1,24 до 1,83 (в 1,48 раза) для фрезы диаметром 50 мм и от 1,38 до 2,33 (в 1,69 раза) для фрезы диаметром 140 мм. Фиктивная сила резания изменяется соответственно от 1,97 до 3,0 Н/мм (1,52 раза) и от 1,81 до 2,42 Н/мм (1,34 раза). Касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия  $k$  изменяется соответственно от 15,2 до 21,6 Мпа (1,42 раза) и от 12,3 до 15,5 МПа (1,26 раза).

Проведенные исследования позволяют сделать следующие **выводы**.

1. С увеличением диаметра фрезы интенсивно нарастают процессы износа и затупления лезвий. Для фрезы диаметром 140 мм по сравнению с фрезой диаметром 50 мм коэффициент затупления увеличивается на 21%.

2. С увеличением диаметра фрезы уменьшается угол перерезания волокон древесины и это приводит к уменьшению:

- фиктивной силы резания на 18 %;
- касательного давления на 16 %.

3. Совместное действие указанных факторов вызывает увеличение энергозатрат при увеличении диаметра фрезы.

При цилиндрическом продольном фрезеровании древесины предпочтительно работать фрезой небольшого диаметра.

Таблица 3 – Зависимость параметров фрезерования от диаметра фрезы

Диаметр фрезы, мм	Глубина фрезерования, мм							
	2	4	5	6	10	15	20	25
50	Длина дуги контакта, мм							
	10,0	14,1	15,8	17,3	22,36	27,4	31,6	35,4
	Коэффициент затупления $\alpha_p$							
	1,24	1,34	1,38	1,41	1,53	1,65	1,75	1,83
	Фиктивная сила резания $p$ , Н/мм							
	1,97	2,14	2,21	2,27	2,47	2,68	2,85	3,0
	Продолжение табл. 3							
	Касательное давление на лезвие $k$ , МПа							
15,2	16,2	16,6	17,0	18,3	19,6	20,7	21,6	
140	Длина дуги контакта, мм							
	16,7	23,7	25,5	29,0	37,4	45,8	52,9	59,2
	Коэффициент затупления $\alpha_p$							
	1,38	1,54	1,60	1,66	1,85	2,03	2,19	2,33
	Фиктивная сила резания $p$ , Н/мм							
	1,81	1,91	1,95	1,99	2,11	2,23	2,33	2,42
	Касательное давление на лезвие $k$ , МПа							
	12,3	12,8	13,0	13,2	13,9	14,5	15,1	15,5

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глебов И.Т. Резание древесины: Избранные лекции [Текст]/ И.Т. Глебов. Екатеринбург, УГЛТУ, 2005. – 98 с.
2. Глебов И.Т. Расчет режимов резания древесины: Монография [Текст]/ И.Т. Глебов. Екатеринбург, УГЛТУ, 2005. – 156 с.
3. Грубе А.Э., Санев В.И. Основы теории и расчета деревообрабатывающих станков, машин и автоматических линий [Текст] / А.Э. Грубе, В.И. Санев. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 384 с.

## РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ПОЛУЗАКРЫТОГО И ЗАКРЫТОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Глебов И.Т. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ), [GIT5@yandex.ru](mailto:GIT5@yandex.ru)

### CALCULATION OF MODES THE HALF-CLOSED AND CLOSED MILLING OF WOOD

В производстве деревянных изделий широко применяются детали с четвертью, пазом, гребнем, прямыми шипами. Указанные элементы выполняются методом полузакрытого или закрытого фрезерования.

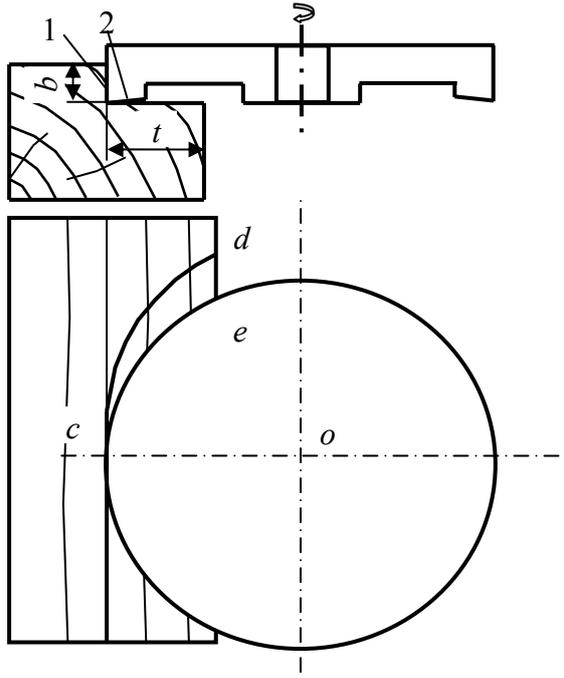


Схема выборки четверти

При полузакрытом фрезеровании в работе по срезанию припуска участвуют две режущие кромки лезвия фрезы (см. рисунок): главная и боковая режущие кромки. При закрытом фрезеровании, например при выборке паза, в работе участвуют три режущих кромки: главная и две боковых.

Исследование процесса закрытого и полузакрытого продольного фрезерования представлены в работах А.П. Шаповала [1] и А.И. Санковича [2].

Общую окружную силу резания предложено рассчитывать по формулам:

для полузакрытого резания

$$F_{хпз} = F_x + F_{хб} + F_{хтр};$$

для закрытого резания

$$F_{хз} = F_x + 2(F_{хб} + F_{хтр}),$$

где  $F_x$  – окружная касательная сила резания открытого резания, Н;

$F_{хб}$  – окружная касательная сила резания по боковой режущей кромке, Н;

$F_{хтр}$  – окружная касательная сила трения боковой режущей кромки, возникающая в результате упругого восстановления древесины, Н;

Значением  $F_{хб}$  в расчетах пренебрегают в виду его малости. Значение  $F_{хтр}$  составляет 5...8% от  $F_x$  и для его определения предложены эмпирические формулы, например для продольного фрезерования по данным А.И. Санковича

$$F_{хтр} = 0,147\mu - 0,54,$$

где  $\mu$  – угол подачи.

Таким образом, по данным А.И. Санковича, касательная сила резания по боковой режущей кромке зависит только от угла подачи. Никакие другие факторы процесса резания на величину этой силы не влияют. Такой вывод кажется сомнительным.

В предлагаемой статье дается другой подход к определению общей силы резания.

При обработке четверти (см. рисунок) обработанная поверхность формируется главной режущей кромкой 1, параллельной оси вращения фрезы, и боковой режущей кромкой 2, перпендикулярной к оси вращения фрезы. Угловые параметры зубьев назначаются так:

при главной режущей кромке – угол резания  $55^\circ \dots 70^\circ$ , задний угол  $10^\circ \dots 15^\circ$ ;

при боковой режущей кромке – угол резания  $90^\circ$ , задний угол  $5^\circ \dots 10^\circ$ , угол поднутрения  $2^\circ \dots 5^\circ$ .

При работе главная режущая кромка удаляет серповидный срезаемый слой сечением в основании  $cde$  и высотой  $b$ . Угол контакта главной режущей кромки с древесиной в градусах определяется по выражению:

$$\varphi_k \approx 115 \sqrt{\frac{t}{D}},$$

где  $t$  – глубина фрезерования, мм;

$D$  – диаметр фрезы, мм.

Средняя толщина срезаемого слоя, мм

$$a_{cp} = S_z \sqrt{\frac{t}{D}},$$

где  $S_z$  – подача на зуб фрезы, мм;  $S_z = de$ .

Главная режущая кромка выполняет продольно-торцовое резание с углом встречи  $\varphi_b = \varphi_k/2$ .

Боковая режущая кромка выполняет продольно-поперечное резание с углом скола  $\varphi_c = \varphi_k/2$ . Для боковой режущей кромки значение  $a_{cp}$  выступает в роли средней ширины срезаемого слоя. За толщину срезаемого слоя предлагается принять значение слоя, подвергнутое упруго-пластическому деформированию боковой режущей кромкой. В первом приближении можно принять  $a_{\delta} = a_{cp}$ .

Тогда можно принять, что общая касательная сила резания равна

$$F_x = F_{x2} + F_{x\delta},$$

где  $F_{x2}$  – сила резания по главной режущей кромке, Н;

$F_{x\delta}$  – сила резания по боковой режущей кромке, Н.

Порядок выполнения расчета показан на примере.

**Дано.** На фрезерном станке обрабатываются сосновые заготовки с выборкой четверти. Ширина фрезерования  $b = 20$  мм, глубина фрезерования  $t = 40$  мм (см. рис.). Диаметр фрезы  $D = 160$  мм, число зубьев  $z = 4$ , частота вращения  $n = 4000$  мин<sup>-1</sup>, материал фрезы – легированная сталь Х6ВФ, период стойкости  $T = 3$  ч. Угол резания главной режущей кромки  $\delta = 55^\circ$ , боковой режущей кромки  $\delta = 90^\circ$ . Скорость подачи  $V_s = 18$  м/мин. Начальный радиус закругления режущих кромок  $\rho_0 = 5$  мкм.

**Определить** мощность электродвигателя механизма главного движения.

**Решение.** Обозначим пункты решения, относящиеся к главной режущей кромке, символами ГРК, к боковой режущей кромке – БРК, а общие пункты – без указания символов.

1. Находим скорость главного движения

$$V = \frac{\pi D n}{60000} = \frac{3,14 \cdot 160 \cdot 4000}{60000} = 33,5 \text{ м/с.}$$

2. Определим величину подачи на один зуб

$$S_z = \frac{1000V_s}{zn} = \frac{1000 \cdot 18}{4 \cdot 4000} = 1,125 \text{ мм.}$$

3. Угол контакта зуба фрезы с заготовкой

$$\varphi_k \approx 115 \sqrt{\frac{t}{D}} = 115 \sqrt{\frac{40}{160}} = 57,5 \text{ град.}$$

Угол встречи главной режущей кромки с волокнами древесины равен углу скоса боковой режущей кромки

$$\varphi_6 = \varphi_c = \varphi_k/2 = 57,5/2 = 28,75.$$

4. Средняя толщина срезаемого слоя главной режущей кромкой

$$a_{cp} = S_z \sqrt{\frac{t}{D}} = 1,125 \sqrt{\frac{40}{160}} = 0,56 \text{ мм.}$$

5. Длина дуги контакта зуба фрезы с заготовкой

$$l_k = \sqrt{tD} = \sqrt{40 \cdot 160} = 80 \text{ мм.}$$

6. Прирост радиуса закругления лезвий за время работы

$$\Delta\rho = \gamma_{\Delta} \ln TK_n K_u / 1000,$$

где  $\gamma_{\Delta}$  – величина затупления лезвий на 1 м пути, для лезвий из легированной инструментальной стали  $\gamma_{\Delta} = 0,0008$  мкм/м;

$K_n, K_u$  – коэффициенты соответственно производительности и использования станка, в примере можно принять  $K_n = K_u = 0,9$ .

$$\Delta\rho = 0,0008 \cdot 80 \cdot 4000 \cdot 3 \cdot 60 \cdot 0,9 \cdot 0,9 / 1000 = 37,3 \text{ мкм.}$$

7. Определим значение фиктивной силы резания [3]

$$\text{ГРК} - p_{//\perp} = 1,57 + 0,0359\varphi_6 = 1,57 + 0,0359 \cdot 28,75 = 2,6 \text{ Н/мм;}$$

$$\text{БРК} - p_{//\perp} = 1,57 - 0,0065\varphi_c = 1,57 - 0,0065 \cdot 28,75 = 1,38 \text{ Н/мм.}$$

8. Находим касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия:

$$\text{ГРК} - k_{//\perp} = (0,196 + 0,0039\varphi_6)\delta + (0,069 + 0,0014\varphi_6)V' - (5,4 + 0,158\varphi_6) = (0,196 + 0,0039 \cdot 28,75)55 + (0,069 + 0,0014 \cdot 28,75)(90 - 33,5) - (5,4 + 0,158 \cdot 28,75) = 13,2 \text{ Мпа;}$$

$$\text{БРК} - k_{\#//} = (0,196 - 0,00184\varphi_c)\delta + [0,069 - (0,069 - B)0,011\varphi_c]V' - (5,4 - 0,053\varphi_c) = (0,196 - 0,00184 \cdot 28,75)90 + [0,069 - (0,069 - 0,069)0,011 \cdot 28,75](90 - 33,5) - (5,4 - 0,053 \cdot 28,75) = 12,9 \text{ Мпа.}$$

**Примечания.** 1. В приведенных формулах  $V'$  – условная скорость резания, м/с, причем, если  $V < 50$  м/с, то  $V' = (90 - V)$ , иначе  $V' = V$ , где  $V$  – скорость главного движения.

2.  $B$  – коэффициент: значение  $B = 0,059$  при  $\delta \leq 55$  и  $B = 0,069$  при  $\delta > 55$ ;

3.  $\delta$  – угол резания, град;

9. Находим коэффициент затупления по формуле

$$\alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta\rho}{\rho_0 + 50}.$$

$$\text{ГРК} - \alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{13,2}{2,6}) \frac{37,3}{5 + 50} = 2,02;$$

$$\text{БРК} - \alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{12,9}{1,38}) \frac{37,3}{5 + 50} = 2,3.$$

10. Рассчитываем значение касательной силы резания на дуге контакта при резании одной режущей кромкой

$$F_{xзуб} = a_n a_w (\alpha_\rho p + ka) b,$$

где  $a$  – толщина срезаемого слоя, мм;

$a_n$  – коэффициент на породу древесины, для древесины сосны  $a_n = 1$ ;

$a_w$  – коэффициент на влажность древесины, при  $W=12\%$   $a_w = 1$ ;

$b$  – ширина срезаемого слоя, мм.

ГРК –  $F_{xзуб1} = 1 \cdot 1(2,02 \cdot 2,6 + 13,2 \cdot 0,56) 20 = 252,9 \text{ Н};$

БРК –  $F_{xзуб1} = 1 \cdot 1(2,3 \cdot 1,38 + 12,9 \cdot 0,56) 0,56 = 5,8 \text{ Н}.$

11. Полная касательная сила резания на дуге контакта при работе одним зубом

$$F_{xзуб} = F_{xзуб1} + F_{xзуб2} = 252,9 + 5,8 = 258,7 \text{ Н}.$$

12. Находим окружную касательную силу резания

$$F_x = F_{xзуб} \frac{z l_\kappa}{\pi D} = 258,7 \frac{4 \cdot 80}{3,14 \cdot 160} = 164,8 \text{ Н}.$$

13. Рассчитаем значение мощности электродвигателя механизма главного движения

$$P = \frac{F_x V}{1000 \eta},$$

где  $\eta$  – КПД передачи, при  $\eta = 0,94$

$$P = \frac{164,8 \cdot 33,5}{1000 \cdot 0,94} = 5,87 \text{ кВт}.$$

**Заключение.** Расчеты показывают, что при выборке четверти основную работу выполняют главные режущие кромки фрезы. Так на главной режущей кромке сила резания равна 252,9 Н, а на боковой – 5,8 Н, что для данного примера составляет только 2,2% от общей силы резания.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шаповал А.П. Исследование процесса продольного профильного фрезерования. Автореферат диссертации на соискание уч. степ. канд. техн. Наук. – М.: МЛТИ, 1965. – 26 с.
2. Бершадский А.Л., Цветкова Н.И. Резание древесины. – Минск: Высшая шк., 1975. – 304 с.
3. Глебов И.Т. Расчет режимов резания древесины. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. – 156 с.

## ФРЕЗЕРОВАНИЕ РАДИУСНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Глебов И.Т. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ), [GIT5@yandex.ru](mailto:GIT5@yandex.ru)

### *Milling radius surfaces*

Радиусными поверхностями называют криволинейные поверхности галтелей, полугалтелей, штапов, полустапов, скруглений кромок (рисунок 1), которые являются элементами деревянных деталей мебели, столярно-строительных изделий. Обрабатываются они радиусными фрезами.

**Кинематические и динамические параметры процесса фрезерования**

При обработке галтели (рисунок 2) режущая кромка  $ABC$  имеет форму дуги окружности радиуса  $r$ . При продольном фрезеровании режущая кромка на участках, прилегающих к точкам  $A$  и  $C$  выполняет продольно-поперечное резание, а на участках около точки  $B$  – продольно-торцовое резание. В целом режущая кромка  $ABC$  выполняет резание продольно-поперечно-торцовое, которое характеризуется углами скоса  $\varphi_c$  и наклона  $\varphi_n$ .

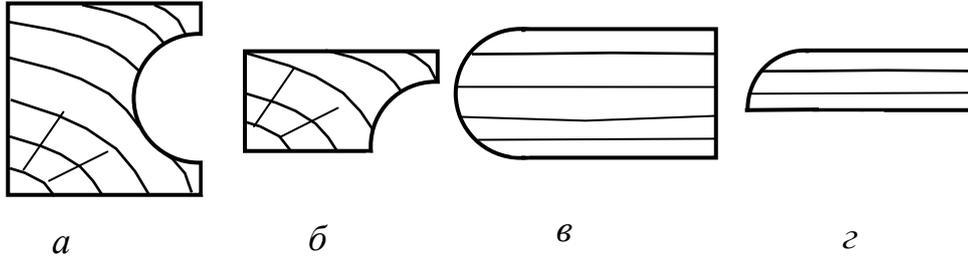


Рисунок 1 – Радиусные поверхности деталей:  
 $a$  – галтель;  $b$  – полугалтель;  $v$  – штап;  $z$  – полустап

Для точки  $F$ , расположенной на середине дуги  $AB$  угол наклона режущей кромки к волокнам древесины  $\varphi_n = 45^\circ$ . Для этой точки среднее значение глубины фрезерования

$$t_{cp} = r \sin 45^\circ = 0,71r. \tag{1}$$

Среднее значение диаметра окружности резания

$$D_{cp} = D - 0,58r. \tag{2}$$

Среднее значение угла скоса можно найти из выражения

$$\varphi_c = \varphi_k / 2 = \arcsin \sqrt{\frac{t_{cp}}{D_{cp}}}, \tag{3}$$

где  $\varphi_k$  – угол контакта режущей кромки в точке  $F$  с заготовкой в градусах;

$$\varphi_k \approx 115 \sqrt{t_{cp} / D_{cp}}.$$

Значение средней толщины срезаемого слоя в точке  $F$  режущей кромки равно

$$a_c = S_z \sin \varphi_n \sin \varphi_c, \tag{4}$$

где  $S_z$  – подача на зуб, мм.

Средняя скорость главного движения резания, м/с

$$V_{cp} = \frac{\pi D_{cp} n}{60000}. \tag{5}$$

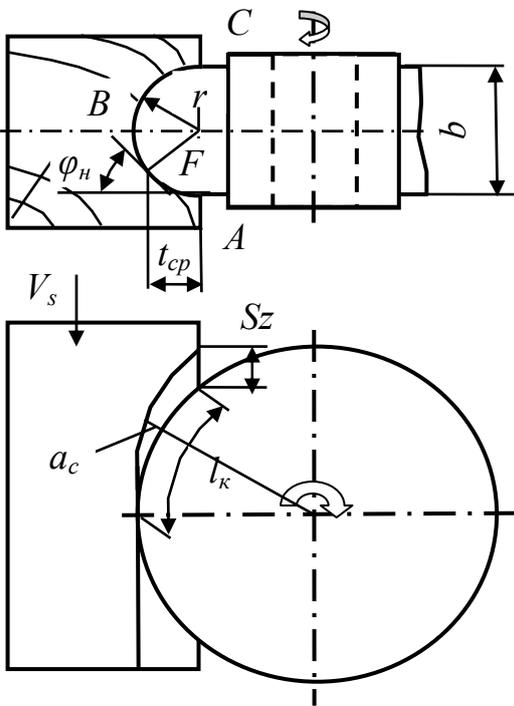


Рисунок 2 – Схема к расчету режима фрезерования галтели

Значение фиктивной силы резания  $p$  и касательного давления срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия  $k$  для продольно-

поперечно-торцового резания древесины сосны найдем по формулам

$$p_{\#//\perp} = 0,98 + 0,00656\varphi_c + (3,82 - 0,00656\varphi_c) \varphi_H/90; \quad (6)$$

$$k_{\#//\perp} = [0,029 + 0,00186\varphi_c + (0,55 - [0,029 + 0,00186\varphi_c]) \frac{\varphi_H}{90}] \delta + \\ + [B + (0,00077 - 0,011B)\varphi_c + (0,196 - [B + (0,00077 - 0,011B)\varphi_c]) \frac{\varphi_H}{90}] V' - \\ - (0,59 - 0,053\varphi_c) - [19,62 - (0,59 - 0,053\varphi_c)] \frac{\varphi_H}{90}, \quad (7)$$

где  $\varphi_c$  – угол скоса, измеряемый между режущей кромкой и волокнами древесины при  $\varphi_H = 0$  (значение  $\varphi_c$  подставляется в градусах);

$B$  – коэффициент, при угле резания  $\delta \leq 55^\circ B = 0,059$ , при  $\delta > 55^\circ B = 0,069$ .

Для расчета мощности механизма главного движения найдем значение удельной работы резания  $K$ , Дж/см<sup>3</sup>:

$$K = a_n a_w (k + \frac{\alpha \rho p}{a_c}), \quad (8)$$

где  $a_n, a_w$  – поправочные коэффициенты соответственно на породу и влажность древесины;

$a_p$  – коэффициент затупления лезвия;

$$\alpha \rho = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta \rho}{\rho_0 + 50}. \quad (9)$$

Мощность механизма главного движения можно определить по объемной формуле, кВт:

$$P = \frac{KV_{co}}{1000},$$

где  $V_{co}$  – секундный объем срезаемого слоя, см<sup>3</sup>/с;

$$V_{co} = \frac{\pi r^2 V_s'}{2},$$

где  $r$  – радиус закругления профиля галтели, см;

$V_s'$  – скорость подачи с размерностью см/с;  $V_s' = \frac{5}{3} V_s$ , где  $V_s$  – скорость подачи с

размерностью м/мин.

Значение окружной касательной силы резания находится через мощность, Н

$$F_x = \frac{1000P}{V_{cp}}.$$

Конечно, расчет мощности можно выполнить и обычным путем, как это будет показано ниже.

### Порядок решения прямой задачи

В прямой задаче определяются значения сил резания и мощности механизма главного движения. Задача решается в следующем порядке.

1. Для точки F (рисунок 2) находят значения:

– средней толщины срезаемого слоя  $t_{cp}$ , мм;

- среднего диаметра окружности резания  $D_{cp}$ , мм;
- средней скорости главного движения  $V_{cp}$ , м/с;
- угла наклона режущей кромки к волокнам древесины,  $\varphi_n = 45^\circ$ ;
- угла контакта режущей кромки с древесиной  $\varphi_k$ , град.;
- угла скоса режущей кромки с волокнами древесины  $\varphi_c$ , град.;
- средней толщины срезаемого слоя  $a_c$ , мм;
- длины дуги контакта, мм:

$$l_k = \sqrt{t_{cp} D_{cp}} ;$$

- прироста радиуса закругления режущей кромки за период стойкости, мкм:  
 $\Delta \rho = \gamma \Delta l_k n T K_n K_u / 1000 .$

2. Для древесины **сосны** с влажностью 12% находятся значения фиктивной силы резания  $p$ , Н/мм, и касательного давления  $k$ , МПа, по формулам (62) и (63).
3. Находится значение коэффициента затупления  $\alpha_p$ .
4. Определяется значение касательной силы резания на дуге контакта одним зубом, Н:

$$F_{xзуб} = a_n a_w (\alpha_p p + k a_c) b .$$

5. Находится средняя окружная касательная сила резания, Н:

$$F_x = F_{xзуб} \frac{\pi D_{cp}}{z l_k} .$$

6. Рассчитывается величина мощности механизма главного движения, кВт:

$$P = \frac{F_x V_{cp}}{1000} .$$

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глебов И.Т. Резание древесины: Избранные лекции [Текст]/ И.Т. Глебов. Екатеринбург, УГЛТУ, 2005. – 98 с.
2. Глебов И.Т. Резание древесины [Текст]/ И.Т. Глебов. Екатеринбург, УГЛТУ, 2001. – 151 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ФРЕЗЕРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО РАДИУСАМ ЛЕЗВИЙ

Глебов И.Т. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ), [GIT5@yandex.ru](mailto:GIT5@yandex.ru)

### Definition of a roughness of the milled surface on radiuses of edges of a mill

Шероховатость поверхности, полученной при цилиндрическом фрезеровании, обычно определяют по длине волны, которую принимают равной величине подачи за один оборот фрезы. Такой способ не учитывает точность радиусов режущих кромок зубьев фрезы, и поэтому считаются приближенными. Неточность радиусов лезвий фрез, т.е. отклонение от общей окружности резания, обычно не превосходит 0,1 мм, хотя при грубой установке ножей по бруску достигает 0,15 мм.

В статье предлагается новый способ определения шероховатости, основанный на расчете высоты гребней кинематических волн, образуемых на обработанной поверхности.

Пусть для продольного цилиндрического фрезерования используется четырехзубая цилиндрическая фреза, режущие кромки зубьев которой расположены на окружностях различных радиусов. При этом  $R_1 > R_2 > R_4 > R_3$ . Расчетная схема формирования поверхности при подаче за один оборот фрезы  $S_o$  показана на рисунке 1.

В связи с этим в нижеприведенных выводах принято допущение, что режущие кромки зубьев перемещаются в древесине по дуге окружности.

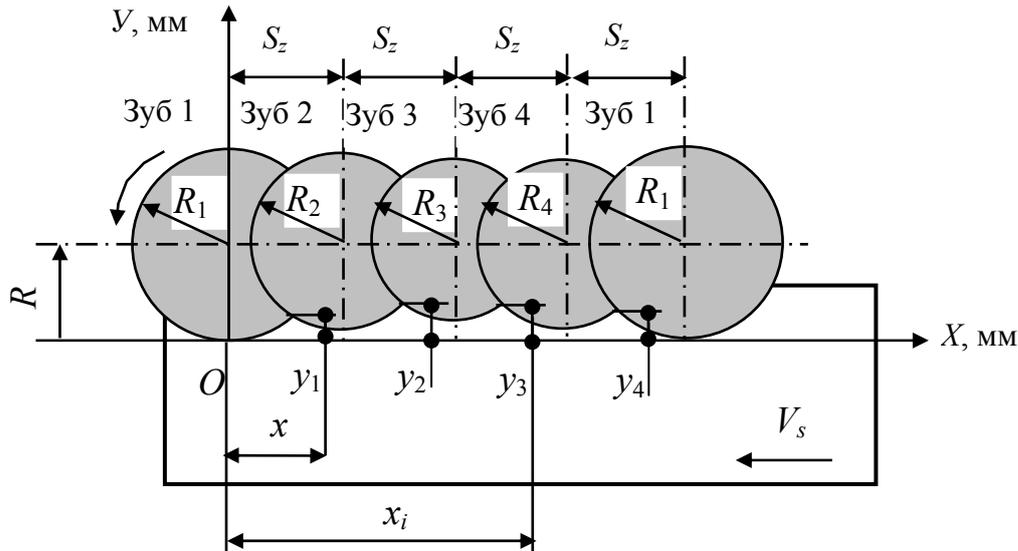


Рисунок 1 – Формирование кинематических волн на обработанной поверхности

Проведем оси координат  $XOY$ . Ось  $OX$  проведем касательно к окружности самого большого радиуса  $R_1$ , а ось  $OY$  – через центр окружности с радиусом  $R_1$ . Центр вращения фрезы установим на расстоянии  $R$  от оси  $OX$  ( $R = R_1$ ) [1].

При вращении фрезы и надвигании на нее заготовки с подачей на зуб  $S_z$  смежные зубья образуют на заготовке гребни волн, высотой относительно оси  $OX$   $y_1, y_2, y_3, y_4$ . Максимальная высота гребня относительно оси  $OX$  на участке подачи за один оборот фрезы характеризует шероховатость обработанной поверхности.

Для определения высоты гребня достаточно написать уравнения смежных окружностей и найти точку их пересечения.

Уравнения окружностей для зубьев 1 и 2 с радиусами вращения  $R_1$  и  $R_2$ :

$$\begin{cases} (x-0)^2 + (y-R)^2 = R_1^2, & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} (x-S_z)^2 + (y-R)^2 = R_2^2. & (2) \end{cases}$$

Решая систему уравнений получим

$$x = \frac{(R_1 - R_2)(R_1 + R_2) + S_z^2}{2S_z}. \quad (3)$$

Координаты последующих гребней по оси X

$$x_i = S_z(i-1) + x, \quad (4)$$

где  $i$  – номер зуба фрезы.

Высота гребня

$$y = R - \sqrt{R_1^2 - \left[ \frac{S_z}{2} + \frac{(R_1 - R_2)(R_1 + R_2)}{2S_z} \right]^2}. \quad (5)$$

Проведем анализ формирования шероховатости фрезерованной поверхности. Для этого рассмотрим различные условия фрезерования.

**1. Фрезы имеют одинаковые радиусы лезвий.** Рассмотрим случай, когда радиусы всех лезвий равны  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 70$  мм. По формулам (4), (5) находим следующие значения  $y$  и  $x_i$  при подаче на зуб  $S_z = 2$  мм:

$y$ , мм	0,007	0,007	0,007	0,007
$x_i$ , мм	1	3	5	7

При подаче на зуб  $S_z = 7,5$  мм:

$y$ , мм	0,101	0,101	0,101	0,101
$x_i$ , мм	3,75	11,25	18,75	26,25

Для случая  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 25$  мм и  $S_z = 2$  мм:

$y$ , мм	0,020	0,020	0,020	0,020
$x_i$ , мм	1	3	5	7

При подаче на зуб  $S_z = 7,5$  мм:

$y$ , мм	0,283	0,283	0,283	0,283
$x_i$ , мм	3,75	11,25	18,75	26,25

Из полученных данных следует, что для фрез с одинаковыми радиусами лезвий высота гребней кинематических волн зависит от значений подачи на зуб и радиуса фрезы. Фрезы небольшого диаметра оставляют на обработанной поверхности более высокие гребни волн. Гребни волн расположены на середине соответствующего участка подачи на зуб.

**2. Влияние неточности радиусов лезвий.** Пусть для фрезы диаметром 140 мм радиусы лезвий равны  $R = R_1 = 70,06$  мм,  $R_2 = 70,00$  мм,  $R_3 = 69,96$  мм,  $R_4 = 70,02$  мм. Неточность радиусов лезвий равна 0,1 мм.

По формулам (4) – (5) находим координаты гребней кинематических волн при подаче на зуб  $S_z = 2$  мм:

$y$ , мм	0,069	0,101	0,109	0,041
$x_i$ , мм	3,1	4,4	2,9	5,6

Если бы  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ , то  $x_i$  приняло бы значения соответственно 1, 3, 5, 7 мм. Для условий примера гребни сгруппировались на середине участка подачи за оборот фрезы (рисунок 2, а). Основную работу по срезанию стружек выполняют лезвия 1 и 4 с самыми большими радиусами. Эти лезвия быстрее изнашиваются, затупляются и приводят к отказу технологической системы по параметрам “точность” и “шероховатость”.

Самое короткое лезвие 3 почти не взаимодействует с заготовкой. Оно медленнее изнашивается и долгое время остается острым. Таким образом, неточное расположение режущих кромок по радиусу вызывает неравномерную загрузку лезвий работой и является причиной отказов технологической системы по параметрам “точность” и “шероховатость”. Таким образом, неточность радиусов лезвий фрезы сильно влияет на шероховатость обработанной поверхности.

Попытаемся растянуть график рисунка 2,а по оси  $x_i$ , построив его по расчетным данным для подачи на зуб  $S_z = 3$  мм. Расчетные значения координат гребней волн для  $S_z = 3$  мм получились следующие:

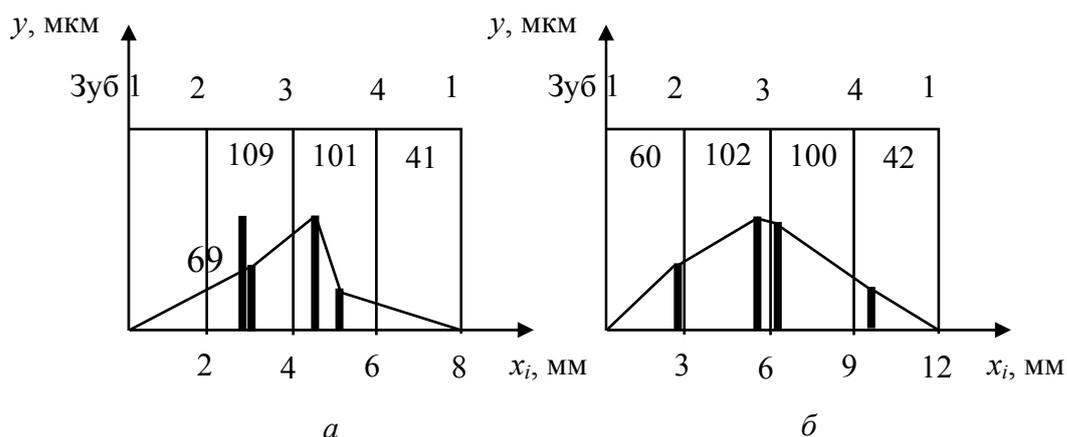


Рисунок 2 – Гребни на фрезерованной поверхности:  
 $a - S_z = 2$  мм;  $b - S_z = 3$  мм

$y$ , мм	0,06	0,102	0,100	0,042
$x_i$ , мм	2,9	5,4	6,1	9,6
Границы $S_z$	3	6	9	12

Из полученных данных видно, что высота гребней волн почти не изменилась, шероховатость поверхности не ухудшилась. При этом изменилось положение гребней по оси  $x_i$ . Гребни расположились более равномерно, каждый гребень находится на участке своего значения подачи на зуб. Сейчас уже каждое лезвие принимает участие в формировании фрезерованной поверхности, хотя и не в одинаковой степени.

Если еще более увеличить подачу на зуб, например до  $S_z = 7,5$  мм, то получим следующие результаты:

$y$ , мм	0,133	0,182	0,173	0,121
$x_i$ , мм	4,3	11,6	18,2	25,9
Границы $S_z$	7,5	15	22,5	30
Середины отрезков $S_z$	3,75	11,25	18,75	26,25

Шероховатость поверхности значительно ухудшилась. При этом гребни волн расположились почти на серединах соответствующих им отрезках подачи на зуб. Загруженность лезвий при работе выровнялась. Износ и затупление всех лезвий стал рав-

номерным. Если ухудшение шероховатости поверхности не имеет существенного значения, то такой режим резания можно считать более благоприятным для работы фрезы.

**3. Влияние точности крепления насадной фрезы на качество обработки.**

Часто насадную фрезу крепят на шпинделе станка с помощью втулок и гайки. При этом фрезу устанавливают на шпинделе с посадкой  $H7/h6$ . Эта посадка образована полями допусков основного вала и основного отверстия. Поле допуска посадочного отверстия диаметром 32...50 мм с основным отклонением  $H$  по качеству 7 равно 25 мкм. Поле допуска вала того же диаметра с основным отклонением  $h6$  равно 16 мкм. Наибольший зазор в посадке равен сумме допусков вала и отверстия, т.е. 41 мкм.

Если при креплении фреза будет зафиксирована эксцентрично, то радиус первого лезвия увеличится на 0,041 мм, а радиус противоположного третьего лезвия уменьшится на 0,041 мм. Радиусы ранее принятой фрезы будут равны: 70,101 – 70,0 – 69,919 – 70,02 мм. Для  $S_z = 4$  мм получим

$y$ , мм	0,101	0,184	0,182	0,083
$x_i$ , мм	3,8	7,4	8,2	12,6
Границы $S_z$	4	8	12	16

**4. Влияние диаметра фрезы при неточности радиусов лезвий 0,1 мм.** Если погрешности значений радиусов лезвий оставить неизменными, а диаметры фрез изменять по величине, то для четырехзубой фрезы можно получить на обработанной поверхности высоту гребней волн

$y$ , мм:                    0,060;                    0,102;                    0,100;                    0,042  
 при следующих условиях:  $D = 60$  мм при  $S_z = 1,9$  мм;  $D = 80$  мм при  $S_z = 2,0$  мм;  $D = 100$  мм при  $S_z = 2,5$  мм;  $D = 120; 140$  мм при  $S_z = 3$  мм;  $D = 160; 180; 200$  мм при  $S_z = 3,5$  мм. Таким образом, с увеличением диаметра фрезы подачу на зуб  $S_z$  можно увеличить.

**Практические рекомендации**

Основным фактором, влияющим на шероховатость поверхности, обработанной при цилиндрическом фрезеровании, является неточность радиусов режущих кромок лезвий. Погрешность расположения режущих кромок фрезы можно устранить путем прифуговки лезвий и использования гидравлического способа крепления фрезы на шпинделе станка.

В этом случае при известном требовании к шероховатости обработанной поверхности важно знать допустимую величину погрешности радиусов лезвий. Решая уравнение (5) относительно погрешности величины радиусов  $\Delta = R_1 - R_2$ , при  $R_1 - R$  получим

$$\Delta = R_1 - \sqrt{R_1^2 + S_z^2 - 2S_z \sqrt{2R_1 y - y^2}}, \tag{6}$$

где  $\Delta$  – допустимая погрешность радиусов положения режущих кромок, мм;  
 $y$  – высота гребня кинематической волны равная  $R_m \max$ , мм.

Значения  $\Delta$ , рассчитанные по формуле (6), приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Максимальные значения допустимых отклонений радиусов зубьев цилиндрических фрез  $\Delta = R_1 - R_i$ , для получения заданной шероховатости поверхности

y = R <sub>m max</sub> , мм	Диаметры фрез, мм				
	80	100	125	140	180
Sz, = 1,0 мм					
0,0063	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006
0,0125	0,012	0,012	0,012	0,012	0,011
0,025	0,023	0,022	0,020	0,020	0,018
0,050	0,038	0,035	0,032	0,031	0,028
0,1	0,058	0,053	0,049	0,046	0,042
0,2	0,087	0,079	0,072	0,068	0,061
0,4	0,129	0,116	0,105	0,100	0,089
Sz, = 1,5 мм					
0,0063	0,0	0,001	0,003	0,004	0,005
0,0125	0,009	0,011	0,012	0,012	0,012
0,025	0,025	0,025	0,024	0,024	0,023
0,050	0,047	0,045	0,042	0,041	0,038
0,1	0,078	0,072	0,067	0,064	0,058
0,2	0,122	0,112	0,102	0,097	0,087
0,4	0,184	0,167	0,152	0,144	0,129

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Глебов И.Т. Исследование шероховатости фрезерованной поверхности древесины // Деревообрабатывающая пром-сть. – 2006.– №3. – С. 11-12.

## СИНТЕЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГИДРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА РЕЗАНИЯ РОТОРНОГО ОКОРОЧНОГО СТАНКА В СИСТЕМЕ MATLAB

Берстенов А.В., Побединский В.В.  
(УГЛТУ, г.Екатеринбург, РФ) [nto@krovtrade.ru](mailto:nto@krovtrade.ru)

## SYNTHESIS OF MATHEMATICAL MODEL OF A HYDRODRIVE OF THE MECHANISM OF CUTTING THE ROTARY DEBARKING MACHINE IN MATLAB ENVIRONMENT

Разработка сложной системы гидропривода короснимателя роторного окорочного станка требует на начальном этапе проведения математического моделирования для определения основных параметров системы. Подробное описание математической мо-

дели гидропривода механизма резания окорочного станка приведено в статье<sup>1</sup> [1] и отчёте [2].

В соответствии с требуемыми параметрами гидропривода короснимателя (ГПК) и математической моделью была разработана математическая модель ГПК (рисунок 1,2) в подсистеме моделирования динамических процессов Simulink среды визуального моделирования MatLab.

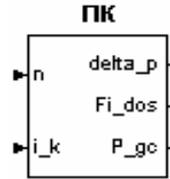


Рисунок 1- Блок ГПК

На вход модели поступает значение перегрузки  $n$  и командный ток  $\bar{i}_k$ . На выходе формируется угол поворота устройства управления (УО) относительно нулевого положения  $\Delta_p$ , угол поворота вала датчика обратной связи  $Fi\_dos$  и значение силового усилия, оказываемое током гидроцилиндра  $P\_gc$ .

Модель гидропривода короснимателя состоит из следующих подсистем:

- «Модель золотника»;
- «Модель гидроцилиндра»;
- «Модель процесса перемещение штока и УО»;
- «Датчик обратной связи (ДОС)».

Подсистема «Модель золотника» формирует относительное перемещение золотника ЭГУ  $\bar{X}_z$ . Структура подсистемы представлено на рисунке 3.

В данной подсистеме реализуются уравнения (23-30) математической модели ГПК. На вход поступает командный ток  $i_k$  и значение перегрузки  $n$ . В зависимости от полярности командного тока струйная трубка отклоняется вправо (при положительном токе) или влево (при отрицательном токе).

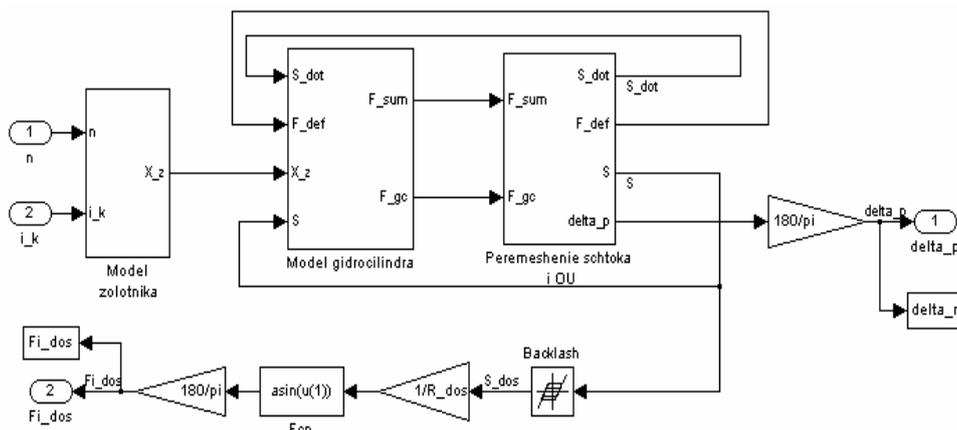


Рисунок 2 – Структурная схема блока ГПК

<sup>1</sup> Так как синтез модели в среде MatLab производится в строгом соответствии с математической моделью, то далее по тексту везде идут ссылки на нумерованные формулы моделей, описание которых дано в статье [1].

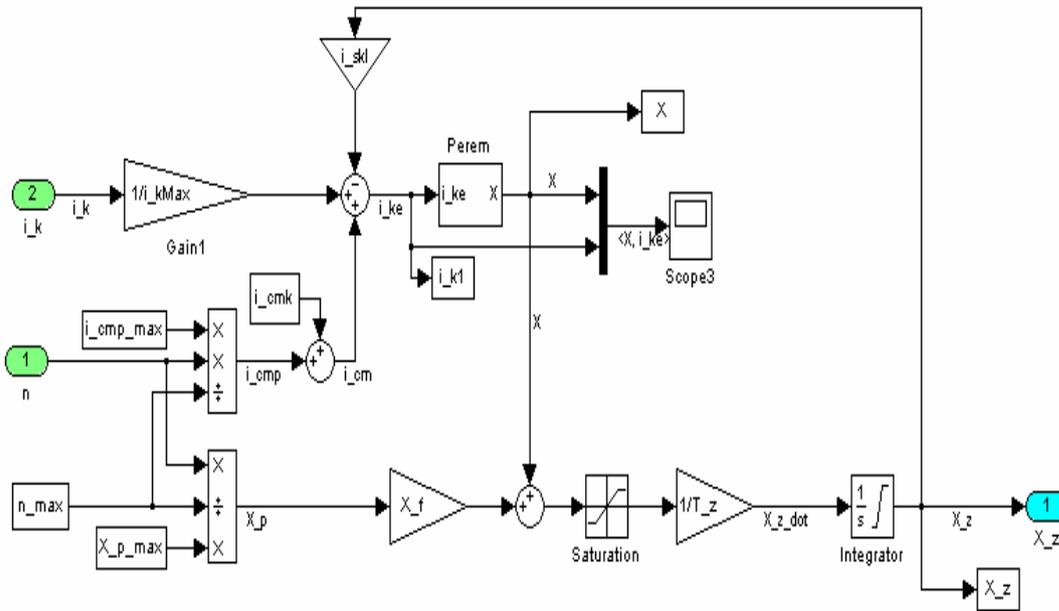


Рисунок 3 – Структурная схема подсистемы "Модель золотника"

Коэффициент  $1/i\_kMax$  служит для перевода тока  $i\_k$  в относительный командный ток. Эквивалентный командный ток  $i\_ke$  поступает на вход блока «Перемещение струйной трубки», структура которой представлена на рисунке 4. В этом блоке реализуются уравнения (24) и (25) математической модели ПК. Причём коэффициент  $K$  в уравнении (25) должен быть равен 1, иначе зависимость  $\bar{X}(i\_ke)$  имеет разрыв. Блоком «Dead Zone» представлена зона нечувствительности по току шириной  $i\_zn$  (левая граница  $-0.5 \cdot i\_zn$ , правая граница  $0.5 \cdot i\_zn$ ). Блок «Saturation» реализует ограничение перемещения  $\bar{X}$  значениями -1 и +1. Зависимость относительного перемещения струйной трубки  $\bar{X}$  от эквивалентного командного тока  $i\_ke$  представлена на рисунке 5.

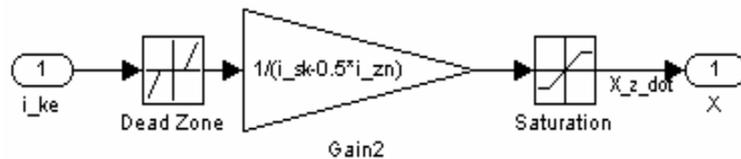


Рисунок 4- Структурная схема блока перемещение струйной трубки

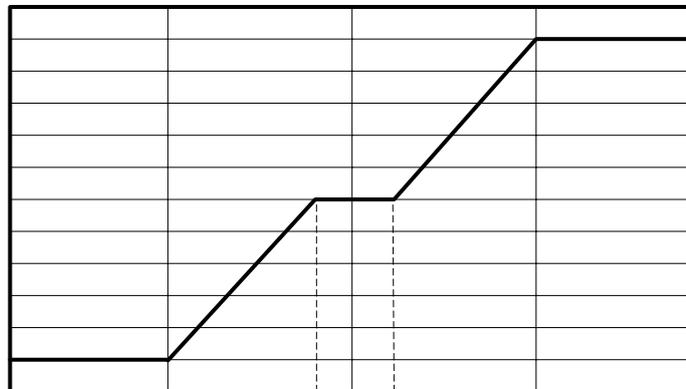


Рисунок 5 - Зависимость  $\bar{X}$  от  $i\_ke$

Полученное относительное перемещение  $\bar{X}$  подаётся на вход звена расчёта скорости перемещения золотника (рисунок 3), которое вычисляет скорость относительного перемещения золотника  $\frac{dX_3}{dt}$  в зависимости от относительного перемещения струйной трубки  $\bar{X}$ . Блок «Saturation» реализует ограничение перемещения  $\bar{X}$  значениями минус 1 и +1. В блоке «Gain» константа  $T_z = 0.0025$ . Путём интегрирования  $\frac{dX_3}{dt}$  вычисляется относительное перемещение золотника  $\bar{X}_3$ .

Подсистема «Модель гидроцилиндра» формирует силы, действующие на шток гидроцилиндра  $F_{гц}$  и  $F_{сум}$ . Структура этой подсистемы представлена на рисунке 6.

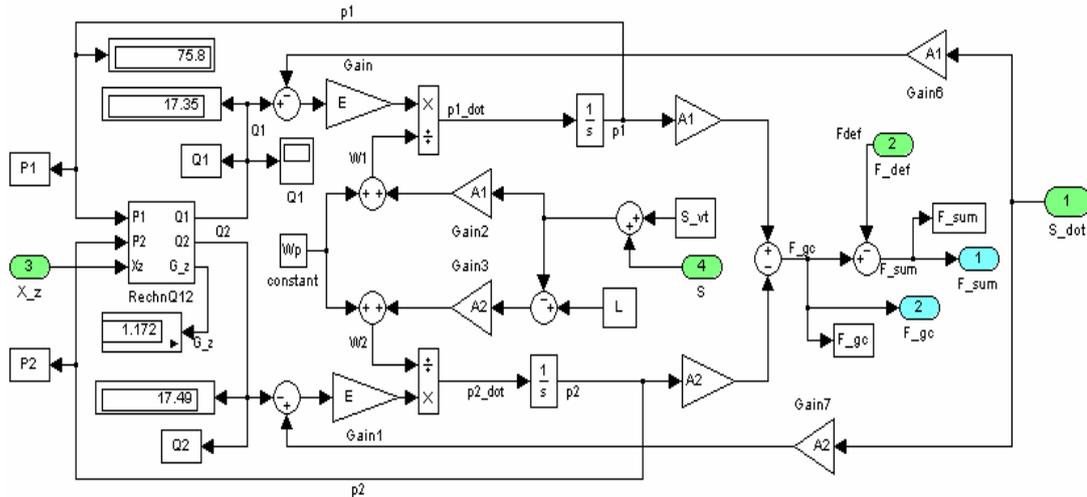


Рисунок 6- Структурная схема подсистемы "Модель гидроцилиндра"

В данной подсистеме реализуются уравнения (11)-(22) математической модели ПК. На вход поступает относительное перемещение золотника  $\bar{X}_3$ . В зависимости от его значения золотник смещается вправо (при отрицательном  $\bar{X}_3$ ) или влево (при положительном  $\bar{X}_3$ ). Соответственно открывается один из каналов, по которым под давлением движется рабочая жидкость, поступающая в полость ГЦ. Расход рабочей жидкости вычисляется с помощью блока «Расход рабочей жидкости» (рисунок 7).

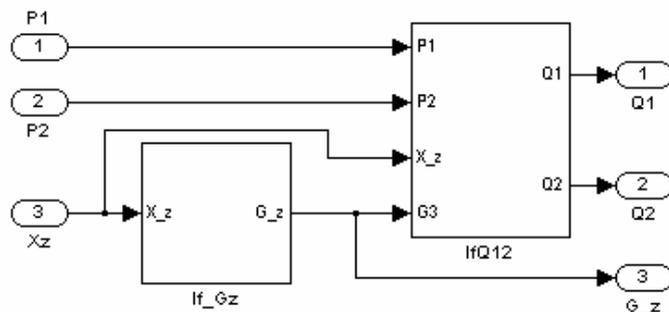


Рисунок 7- Структурная схема блока "Расход рабочей жидкости"

На вход блока поступает относительное перемещение золотника  $\bar{X}_3$  и давление  $P_1$  и  $P_2$  (из обратной связи). В зависимости от значения  $\bar{X}_3$  из выражения (21), (22) определяется суммарная проводимость рабочего окна и канала золотникового распределителя  $G_z$ . На основании давлений  $P_1, P_2$ , относительное перемещение золотника  $\bar{X}_3$  и

проводимость  $G_z$ . в блоке «Расчёт  $Q_1, Q_2$ » (рисунок 8) вычисляются расходы рабочей жидкости  $Q_1, Q_2$  по формулам (18), (19).

Полученные расходы  $Q_1, Q_2$ , а также объёмы бесштоковой и штоковой полостей ГЦ  $W_1$  и  $W_2$  в свою очередь позволяют рассчитать давления  $P_1$  и  $P_2$ , определяющие силу  $F_{ГЦ}$ , действующую на шток ГЦ. А сила  $F_{сум}$  – есть разница силы  $F_{ГЦ}$  и силы деформации  $F_{деф}$ .

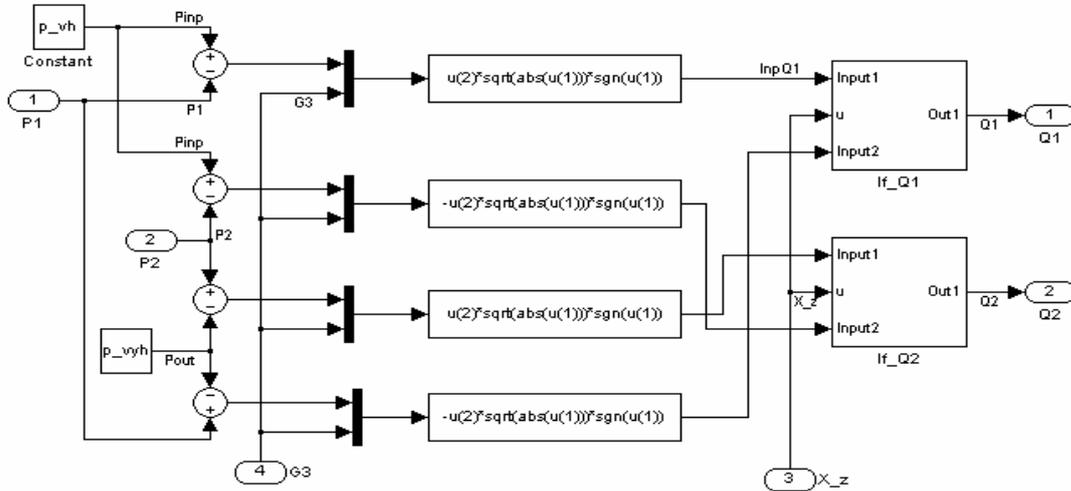


Рисунок 8 – Структурная схема блока "Расчёт  $Q_1, Q_2$ ".

В подсистеме «Перемещение штока и УО» формируются скорость перемещения штока  $S_{dot}$ , перемещение штока  $S$ , сила деформации  $F_{деф}$  и перемещение короснимателя  $delta_r$ . Структурная схема этой подсистемы представлена на рисунке 9.

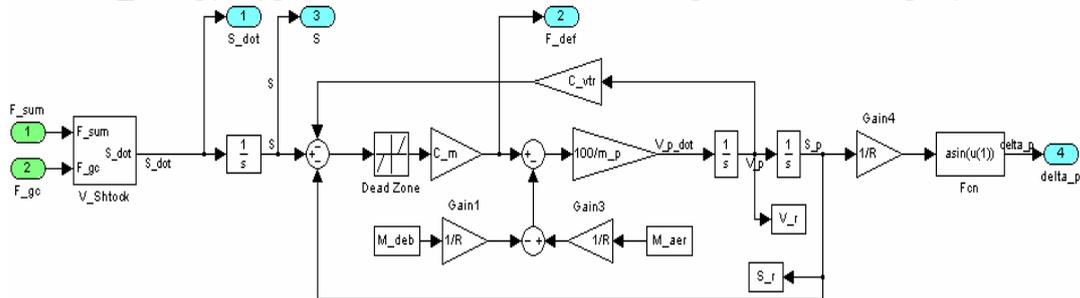


Рисунок 9 – Структурная схема подсистемы "Перемещение штока и УО".

В этой подсистеме реализуются уравнения (1) - (10) математической модели ПК. На вход подсистемы поступают силы  $F_{сум}$  и  $F_{гц}$ . С помощью блока «Скорость перемещения штока» (рисунок 10) рассчитывается по формуле (9) скорость перемещения штока, при этом учитывается, что на механических упорах  $S_{dot} = 0$ .

Для получения характеристик модели гидропривода механизма резания роторного окорочного станка в качестве задающего воздействия использовался командный ток, изменяющийся во времени скачками от 40 мА до минус 40мА.

На рисунке 11 показаны командный ток управления, скорость выдвигания штока гидроцилиндра и угловая скорость вращения короснимателя вокруг оси закрепления. Графики в левой колонке – результат моделирования без внешней нагрузки.

Как видно из графиков, скорость выдвигания штока (участок времени 0 – 0,1 с) составляет 300м/с, угловая скорость короснимателя 573 град/с. Аналогично, скорость втягивания штока (участок времени 0,1 – 0,5 с) составляет 40м/с, угловая скорость ко-

роснимателя 102 град/с. В момент достижения штоком упора, его скорость принимает нулевое значение.

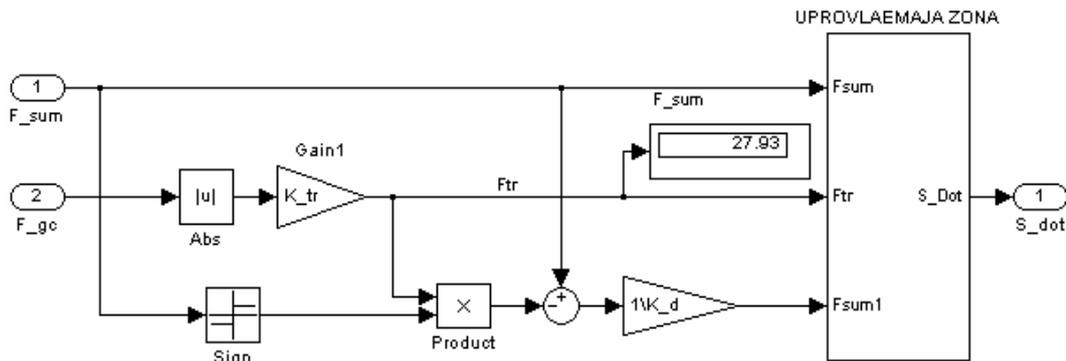
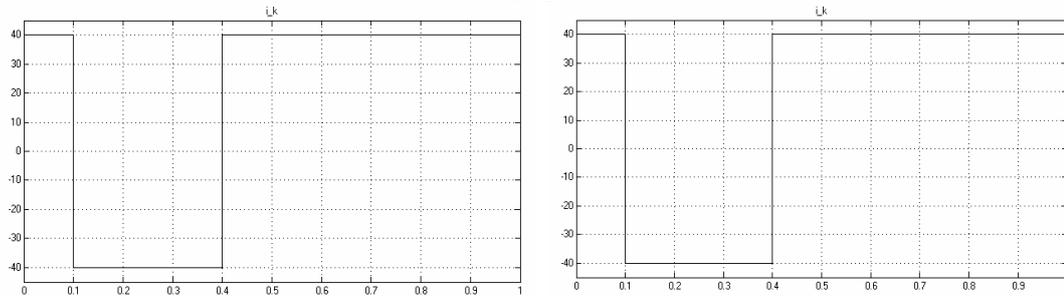


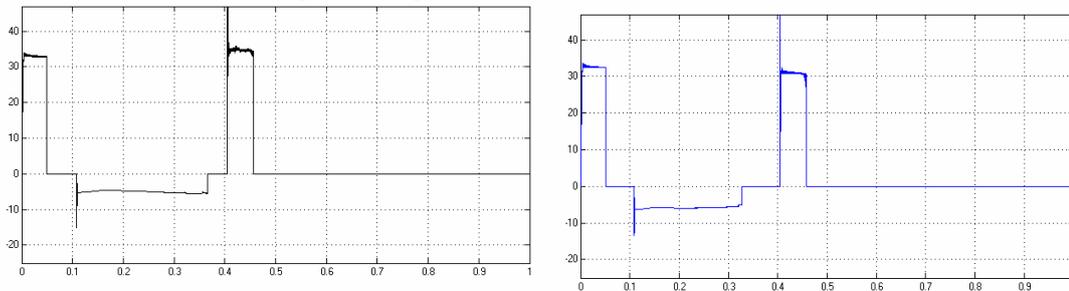
Рисунок 10- Структурная схема блока "Скорость перемещения штока".

Графики в правой колонке демонстрируют результат моделирования с учётом нагрузки на коросниматель 2000 Н.

Моделирование без внешней нагрузки      Моделирование с внешней нагрузкой  
Командный ток управления (мА).



Скорость перемещения штока ГЦ (см/с).



Угловая скорость вращения короснимателя (град/сек).

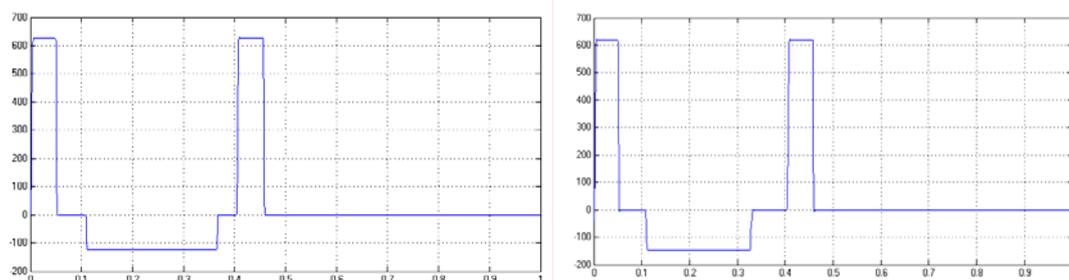


Рисунок 11 - Моделирование процессов гидравлического привода без нагрузки и с нагрузкой до 2000 Н

Из приведённых результатов моделирования следует, что скорость выдвижения штока ГЦ значительно больше, чем скорость втягивания. Такой эффект обусловлен

конструктивной особенностью моделируемого гидропривода. Причиной этого является неравномерность нагрузки на гидропривод при его движении в противоположные стороны. Так при опускании короснимателя, действие производится только за счёт усилия прижима гидропривода с учётом отрицательного вклада центробежной силы, действующей на управляемый элемент.

При поднятии короснимателя к усилию гидропривода с положительным знаком добавляются центробежная сила и динамическая нагрузка от действия обрабатываемой поверхности. Таким образом, для улучшения динамических характеристик усилие гидроцилиндра при втягивании снижено за счёт уменьшения эффективной площади сечения штоковой области ГЦ.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Разработанная математическая модель гидропривода механизма резания роторного окорочного станка является составной частью модели системы управления режущими инструментами станка, в которую помимо рассмотренной системы входят модель САУ и модель процесса возмущений от воздействия обрабатываемой поверхности лесоматериала.

Реализация предложенной в [1] математической модели в среде моделирования динамических процессов MatLab позволяет учесть важнейшие особенности механизма, его физические параметры и использовать при проектировании системы управления рабочими органами роторного окорочного станка.

Использование при проектировании пакета MatLab обеспечивает наиболее рациональный подход к разработке, позволяет объединять составные части модели, производить её детальный анализ и отработку параметров конструкции.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Берстенёв А.В., Побединский В.В., Санников С.П. Система автоматического управления рабочими органами роторного окорочного станка. – Сборник докладов второй научно-техн. конф. молодых специалистов. – Екатеринбург: УГЛТУ, 19 апреля 2006 г.
2. Лаборатория динамических систем. Отчёт о доработке модели рулевого привода. – Федеральное космическое агентство ГУП НПО «Автоматика» им. Академика Н.А.Семихатова 2006 г.
3. Дорф Р.К., Бишоп Р. Х. Современные системы управления. – М.: «Лаборатория Базовых Знаний», 2004г.- 832с.
4. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MatLab. – Санкт-Петербург: «Питер», 2005г. - 512с.

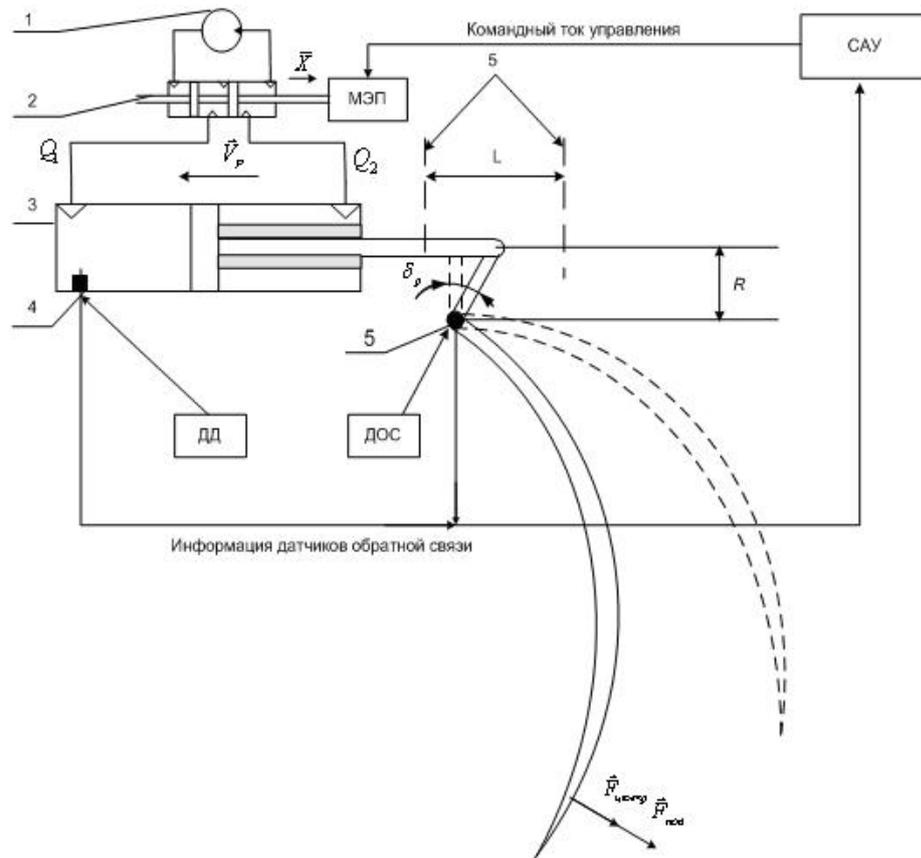
## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОПРИВОДА РАБОЧЕГО ОРГАНА РОТОРНОГО ОКОРОЧНОГО СТАНКА

Берстенов А.В., Побединский В.В.

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [nto@krovtrade.ru](mailto:nto@krovtrade.ru)

### MATHEMATICAL MODEL OF A HYDRODRIVE OF WORKING BODY THE ROTARY DEBARKING MACHINE

Структурная реализация конструктивного решения гидропривода режущего инструмента роторного окорочного станка [1] предусматривает использование механизма с системой автоматического управления (САУ) [2,3]. Для исследования работы такой конструкции (рисунок 1) необходима модель гидравлического привода. Ниже приводится описание разработанной математической модели гидропривода для станка ОК-63.



1 – гидравлический насос; 2 – золотник; 3 – гидроцилиндр; 4 – датчик давления;  
5 – круговой индукционный датчик обратной связи.

Рисунок 1 - Принципиальная схема гидравлического привода рабочего органа окорочного станка

Вращательное движение короснимателя (органа управления) для модели станка описывается следующими уравнениями:

Значение угла поворота  $\delta_p$  управляющего (УО) органа относительно исходного положения находится по формуле:

$$\delta_p = \arcsin \frac{S_p}{R}, \quad (1)$$

Угловая скорость УО

$$\frac{d\delta_p}{dt} = \frac{V_p}{R}, \quad (2)$$

где  $R$  - плечо приложения усилия РМ к УО,  $R=3\text{см}$ ;

$S_p, V_p$  - перемещение и скорость УО, приведенные к штоку гидроцилиндра (ГЦ) привода короснимателя (ПК), рассчитываются, соответственно, по формулам:

$$\frac{dS_p}{dt} = V_p; \quad (3)$$

$$\frac{dV_h}{dt} = \frac{F_{\text{деф}} - (F_{\text{ноз}} - F_{\text{деб}})}{m_p}. \quad (4)$$

где  $F_{\text{деф}}$  – сила деформации, определяется из выражения:

$$F_{\text{деф}} = \begin{cases} C_M \cdot (S - S_p - l_u), & \text{если } S - S_p > l_u; \\ C_M \cdot (S - S_p), & \text{если } S - S_p > 0; \\ 0, & \text{если } l_u \geq S - S_p \geq 0; \end{cases} \quad (5)$$

где  $S$  - перемещение штока относительно ГЦ ПК;

$C_M$  - жёсткость системы,  $C_M = 30000$  кгс/см;

$l_u$  - люфт в кинематической передаче от ГЦ к УО,  $l_u = 0,05$  мм

$F_{\text{ноз}}$  вычисляется по формуле:

$$F_{\text{ноз}} = \frac{M_{\text{пов}}}{R}, \quad (6)$$

где  $M_{\text{пов}}$  – момент сил, действующий на УО от взаимодействия с обрабатываемой поверхностью.

$F_{\text{деб}}$  рассчитывается по формуле:

$$F_{\text{деб}} = \frac{M_{\text{деб}}}{R}; \quad (7)$$

где  $M_{\text{деб}}$  – момент дисбаланса от перегрузок.

$M_p$  – масса штока ГЦ с тягой к УО и приведённая к штоку ГЦ масса УО, рассчитываемая по формуле:

$$m_p = \frac{I_p}{R^2}, \quad (8)$$

где  $I_p$  - суммарный момент инерции УО и штока ГЦ с тягой к УО относительно оси вращения УО,  $I_p = 10 \cdot 10^{-4}$  кгс  $\text{с}^2 \cdot \text{м}$ .

Скорость движения штока ГЦ описывается уравнением:

$$\frac{dS}{dt} = \begin{cases} 0, & \text{если } |F_{\text{зи}} - F_{\text{деф}}| \leq F_{\text{мп}}; \\ \frac{F_{\text{зи}} - F_{\text{деф}} - F_{\text{мп}} \cdot \text{sign}(F_{\text{зи}} - F_{\text{деф}})}{K_d}, & \text{если } |F_{\text{зи}} - F_{\text{деф}}| > F_{\text{мп}}; \end{cases} \quad (9)$$

где  $K_d$  - коэффициент демпфирующей нагрузки на шток ГЦ,  $K_d = 1$  кгс  $\cdot$  с/см.

Сила трения  $F_{\text{мп}}$  рассчитывается по формуле:

$$F_{mp} = K_{mp} \cdot |F_{zu}|; \quad (10)$$

где  $K_{тр}$  - безразмерный коэффициент сухого трения в ГЦ,  $K_{тр} = 0,05$ ;  
 $F_{zu}$  - сила, действующая на шток ГЦ, описывается выражением:

$$F_{zu} = A_1 \cdot P_1 - A_2 \cdot P_2; \quad (11)$$

где  $A_1$  - эффективная площадь поршня бесштоковой полости ГЦ,  $A_1 = 10,48 \text{ см}^2$ ;  
 $A_2$  - эффективная площадь поршня штоковой полости ГЦ,  $A_2 = 1,16 \text{ см}^2$ ;  
 $P_1, P_2$  - давление в бесштоковой и штоковой полостях ГЦ.

Перемещение штока ограничивается механическими упорами ГЦ, расстояние между которыми  $L = (1,6 - 0,01)\text{см}$ . При полностью втянутом штоке  $S = -S_{вт}$  ( $S_{вт} = -0,1$ ) см. В точках механических упоров  $\frac{dS}{dt} = 0$ . Рабочий диапазон перемещения штока составляет от 0 до 12,7 мм и соответствует рабочим углам поворота УО от  $0^\circ$  до  $25^\circ$ .

Давление  $P_1$  и  $P_2$  в формуле (11) определяются из уравнений:

$$\frac{dP_1}{dt} = \frac{E}{W_1} \cdot \left( Q_1 - A_1 \cdot \frac{dS}{dt} \right); \quad (12)$$

$$P_1 \geq 0; \quad (13)$$

$$\frac{dP_2}{dt} = \frac{E}{W_2} \cdot \left( Q_2 - A_2 \cdot \frac{dS}{dt} \right); \quad (14)$$

$$P_2 \geq 0; \quad (15)$$

где  $E$  - приведённый модуль упругости ПК,  $E = 6000 \text{ кгс/см}^2$ ;  
 $W_1, W_2$  - объёмы бесштоковой и штоковой полости ГЦ;  
 $Q_1, Q_2$  - расходы рабочей жидкости, поступающей в полости ГЦ или вытекающей из них.

Зависимости объёмов  $W_1, W_2$  от перемещений штока  $S$  имеют вид:

$$W_1 = W_{1n} + A_1 \cdot (S + S_{см}); \quad (16)$$

$$W_2 = W_{2n} + A_2 \cdot (L - S - S_{см}), \quad (17)$$

где  $W_{1n}, W_{2n}$  - «паразитные» объёмы бесштоковой и штоковой полостей ГЦ,  
 $W_{1n} = W_{2n} = 3 \text{ см}^3$ .

Значения расходов  $Q_1$  и  $Q_2$  зависят от проводимостей рабочих окон и каналов золотникового распределителя и от перепадов давления на них:

$$Q = \begin{cases} G_3 \cdot \sqrt{|P_{вх} - P_1|} \cdot \text{sign}(P_{вх} - P_1), & \text{если } \bar{X}_3 > 0; \\ -G_3 \cdot \sqrt{|P_1 - P_{вх}|} \cdot \text{sign}(P_1 - P_{вх}), & \text{если } \bar{X}_3 \leq 0; \end{cases} \quad (18)$$

$$Q = \begin{cases} G_3 \cdot \sqrt{|P_{вх} - P_2|} \cdot \text{sign}(P_{вх} - P_2), & \text{если } \bar{X}_3 > 0; \\ -G_3 \cdot \sqrt{|P_2 - P_{вх}|} \cdot \text{sign}(P_2 - P_{вх}), & \text{если } \bar{X}_3 \leq 0; \end{cases} \quad (19)$$

$$|\bar{X}_3| \leq 1, \quad (20)$$

где  $P_{вх}$  - давление на входе золотникового распределителя  $P_{вх} = (255 \dots 295) \text{ кгс/см}^2$ ;

$P_{вх}$  - давление на выходе золотникового распределителя,  $P_{вх} \leq 4 \text{ кгс/см}^2$ ;

$G_3$  - суммарная проводимость рабочего окна и канала золотникового распределителя, определяется из выражений:

$$G_3 = 0, \text{ если } \bar{X}_3 = 0; \quad (21)$$

$$\frac{1}{G_3} = \frac{1}{(G_{ок \max} \cdot \bar{X})^2} + \frac{1}{G_k^2}, \text{ если } \bar{X}_3 \neq 0, \quad (22)$$

где  $G_{ок \max}$  - максимальная проводимость рабочего окна при  $(|\bar{X}_3| = 1)$ ,

$$G_{ок\max} = 25,6 \frac{см^2}{с \cdot кгс^{0.5}};$$

$G_k$  - проводимость канала золотникового распределителя,  $G_k = 210 \frac{см^2}{с \cdot кгс^{0.5}}$ ;

$\bar{X}_3$  - относительное перемещение золотника электрогидравлического усилителя (ЭГУ), безразмерное перемещение золотника  $\bar{X}_3$  определяется выражениями:

$$\frac{d\bar{X}_3}{dt} = \begin{cases} \frac{\bar{X} + \bar{X}_F \cdot \bar{X}_n}{T_3}, & \text{если } |\bar{X}| \leq \bar{X}_F; \\ \frac{sign \bar{X} + \bar{X}_n}{T_3}, & \text{если } |\bar{X}| > \bar{X}_F, \end{cases} \quad (23)$$

где  $\bar{X}$  - относительное перемещение струйной трубки 1-го каскада ЭГУ;

$\bar{X}_F$  - относительное перемещение струйной трубки, при котором проис-

ходит

насыщение силовой характеристики 1-го каскада,  $\bar{X}_F = 0,7 \dots 1$ ;

$T_3$  - постоянная времени золотника ЭГУ,  $T_3 =$  от 2,5 до 3 мс;

$\bar{X}_n$  - отношение силы от линейных перегрузок, действующих на золот-

ник,

к максимальной тормозной силе 1-го каскада ЭГУ.

Относительное перемещение струйной трубки 1-го каскада ЭГУ вычисляется по формулам:

$$\bar{X} = \begin{cases} 0, & \text{если } |\bar{i}_{кэ}| < 0,5 \cdot \bar{i}_{зн} \\ K \cdot (\bar{i}_{кэ} - 0,5 \cdot \bar{i}_{зн} \cdot sign \bar{i}_{кэ}), & \text{если } \bar{i}_{кэ} > |\bar{i}_{кэ}| > 0,5 \cdot \bar{i}_{зн}; \\ sign \bar{i}_{кэ}, & \text{если } |\bar{i}_{кэ}| > \bar{i}_{ск}; \end{cases} \quad (24)$$

$$K = \frac{1}{\bar{i}_{ск} - 0,5 \cdot \bar{i}_{зн}}; \quad (25)$$

где  $\bar{i}_{кэ}$  - относительный эквивалентный ток;

$\bar{i}_{кэ}$  - зона нечувствительности магнитоэлектрического преобразователя (МЭП)  $\bar{i}_{кэ} \leq 0,08$ ;

$\bar{i}_{ск}$  - относительный командный ток насыщения  $\bar{X}$ ,  $\bar{i}_{ск} = 0,25$ .

Относительный эквивалентный ток рассчитывается следующим образом:

$$\bar{i}_{кэ} = \bar{i}_k - \bar{i}_{ск1} \cdot \bar{X} + \bar{i}_{см}, \quad (26)$$

где  $\bar{i}_k$  - относительный командный ток СУ;

$\bar{i}_{см}$  - смещение зоны нечувствительности магнитоэлектрического преобразователя (МЭП);

$\bar{i}_{ск1}$  - относительный командный ток насыщения  $\bar{X}_3$ ,  $\bar{i}_{ск1} = 0,25 \dots 1$ .

Смещение середины зоны нечувствительности МЭП рассчитывается по формуле:

$$\bar{i}_{см} = \bar{i}_{смк} + \bar{i}_{смт}, \quad (27)$$

где  $|\bar{i}_{смк}|$  - относительное смещение середины зоны нечувствительности МЭП от конструктивных факторов,  $|\bar{i}_{смк}| \leq 0,11$ .

$\bar{i}_{cмн}$  - относительное смещение середины зоны нечувствительности МЭП от линейных перегрузок (отношение момента дисбаланса подвижных частей МЭП при действии линейных перегрузок к максимальному моменту, развиваемому МЭП), определяется из выражения:

$$|\bar{i}_{cмн}| = \frac{n}{n_{max}} \cdot \bar{i}_{cмн max}, \quad (28)$$

где  $n$  - коэффициент суммарной перегрузки;

$n_{max}$  - коэффициент максимальной суммарной перегрузки,  $n_{max} = 200$ ;

$\bar{i}_{cмн max}$  - максимальное значение  $\bar{i}_{cмн}$ ,  $\bar{i}_{cмн max} = 0,09$ .

Отношение силы от линейных перегрузок, действующих на золотник, к максимальной тормозной силе 1-го каскада ЭГУ,  $\bar{X}_n$  рассчитывается по формуле:

$$\bar{X}_n = \frac{n}{n_{max}} \cdot \bar{X}_{n max}, \quad (29)$$

где  $\bar{X}_{n max}$  - максимальные значения  $\bar{X}_n$ ,  $\bar{X}_{n max} = 0.014$ , при этом

$$sign \bar{i}_{cмн} = -sign \bar{X}_n. \quad (30)$$

Величина  $n_{max}$  зависит от ориентации ЭГУ на изделии.

Относительные перемещения  $\bar{X}$  и  $\bar{X}_z$  определяются отношением их значений к соответствующим максимальным перемещениям.

Все относительные токи, зона нечувствительности и её смещение определяются по отношению к максимальному командному току  $i_{k max} = 40$ мА. Значение силы командного тока изменяется в диапазоне от минус 40 до +40 мА.

Угол поворота вала кругового индукционного датчика обратной связи в зависимости от перемещения штока ГЦ определяется выражениями:

$$\varphi_{дос} = \arcsin \frac{S_{дос}}{R_{дос}}; \quad (31)$$

$$S_{дос} = \begin{cases} S & \text{при выдвигании штока} \\ S + l_{u1} & \text{при втягивании штока} \\ S < S_{дос} < S + l_{u1} & \text{при смене направления движения штока} \end{cases} \quad (32)$$

где  $l_{u1}$  - люфт в кинематической передаче от штока ГЦ к датчику обратной связи,

$$l_{u1} = 0,04 \text{ мм};$$

$R_{дос}$  - плечо поворота вала датчика обратной связи,  $R_{дос} = 2,4$ см.

При смене направления движения штока вал датчика останавливается в пределах люфта.

При моделировании процесса работы гидропривода для дифференциальных уравнений математической модели задаются следующие начальные условия в момент времени  $t = t_0$ :

$$\bar{X}_z = \bar{X}_{z0}; \quad S = S_0; \quad S_p = S_{p0}; \quad P_2 = P_{20}; \quad P_1 = P_{10}.$$

Предложенная математическая модель позволяет исследовать процесс работу механизма резания в процессе окорки лесоматериалов.

Преимущества модели в том, что наиболее точно учитываются различные нелинейности (люфты, дисбаланс, запаздывание, «паразитные» объемы, утечки и т.д.). При подобном подходе обеспечивается наибольшая точность моделирования процесса, корректность физического описания процессов обеспечивается развитым математическим аппаратом системы MatLab.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берстенёв А.В., Побединский В.В., Санников С.П. Система автоматического управления рабочими органами роторного окорочного станка. – Сборник докладов второй научно-техн. конф. молодых специалистов. – Екатеринбург: УГЛТУ, 19 апреля 2006 г.
2. Дорф Р.К., Бишоп Р. Х. Современные системы управления. – М.: «Лаборатория Базовых Знаний», 2004 г. – 832 с.
3. Александров В.В., Болянский В.Г., Лемак С.С., Парусников Н.А., Тихомиров В.М. Оптимальное управление движением. – М.: «Физматлит», 2005 г. -375 с.
4. Пигильдин Н.Ф. Окорка лесоматериалов.–М.: Лесная промышленность,1982-192с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ РОТОРНОГО ОКОРОЧНОГО СТАНКА В СРЕДЕ MATLAB

**Побединский В.В., Берстенев А.В., Шуняев С.Н.**  
(УГЛТУ, г.Екатеринбург, РФ) [nto@krovtrade.ru](mailto:nto@krovtrade.ru)

### **MODELLING OF WORKING PROCESSES ON ROTARY THE DEBARKING MACHINE IN MATLAB ENVIRONMENT**

Как известно [1], для исследования системы автоматического управления (САУ) рабочими органами роторного окорочного станка используются спектральные характеристики воздействий со стороны микропрофиля поверхности обрабатываемого лесоматериала. Динамические нагрузки обуславливаются пороками древесины (кривизна, сучки, овальность и т. д.), распределение которых описывается имитационной моделью [2], позволяющей статистически оценить поверхность обрабатываемого лесоматериала.

Однако функциональные зависимости, связывающие характеристики лесоматериалов, пороков древесины, режимов обработки с одной стороны, и параметры динамических нагрузок с другой, установить практически невозможно. Наиболее эффективным подходом к решению такой задачи будет применение теории нечетких множеств (ТНМ) [3].

Разработка модели на основе ТНМ может быть выполнена в различных системах программирования, например, Delphi, Builder и др. Но системы объектно-ориентированного языка имеют только возможности построения моделей нечеткого вывода, что требует значительных затрат при разработке. В настоящее время к стандартным системам создан ряд приложений для практического использования нечетких множеств, одна из них – это MatLab, которая обеспечена наиболее развитыми пакетами Simulink и Fuzzy Logic Toolbox [5].

Для реализации всех концепций нечеткого вывода – фаззификации, агрегирования, активизации или композиции подзаклучений, аккумуляирования правил, дефаззификации выходных данных предусмотрены специальные процедуры и функции, созданные в пакетах моделирования MatLab.

Систему нечёткого вывода можно разработать, используя пакет Fuzzy Logic Toolbox в интерактивном режиме или в режиме командной строки. Такой способ разработки обладает большой гибкостью и простотой реализации. Применение данного инструментария при проектировании нечётких систем наиболее подходит для решения задач исследования свойств системы, особенно если результатом функционирования нечёткой системы являются параметры, обладающие строго определённым физическим

смыслом. Однако при проектировании сложных многоуровневых систем, строящихся по каскадно-модульному принципу, требуется мощный, легко масштабируемый механизм с высокой степенью абстракции. При таком подходе наиболее рационально использовать подсистему визуального проектирования динамических процессов Simulink.

В системе MatLab реализованы следующие функции нечёткой логики:

1. 11 встроенных ФП (функций принадлежности) для построения термов нечётких переменных. Наиболее характерные из них:

- двухсторонняя кривая Гаусса (gauss2mf);
- колоколообразная кривая (gbellmf);
- П-образная функция принадлежности (pimf);
- трапециевидная функция принадлежности (trapmf) и т.д.

2. Функции управления структурой данных системы нечёткого вывода FIS (Fuzzy Interference System). Этот набор функций реализует:

- добавление и удаление из системы нечёткого вывода FIS функций принадлежности, переменных и правил нечёткого вывода.
- дефазификации ФП;
- выполнение нечёткого вывода в FIS;
- генерация поверхности вывода FIS;
- отображение структуры входа-выхода системы нечёткого вывода;
- возможность вывода свойств нечёткой системы и отображение графиков всех функций принадлежности соответствующей лингвистической переменной;
- загрузку и сохранение системы нечёткого вывода на диска.

3. Функции и программы дополнительных методов, а также взаимодействия с пакетом Simulink.

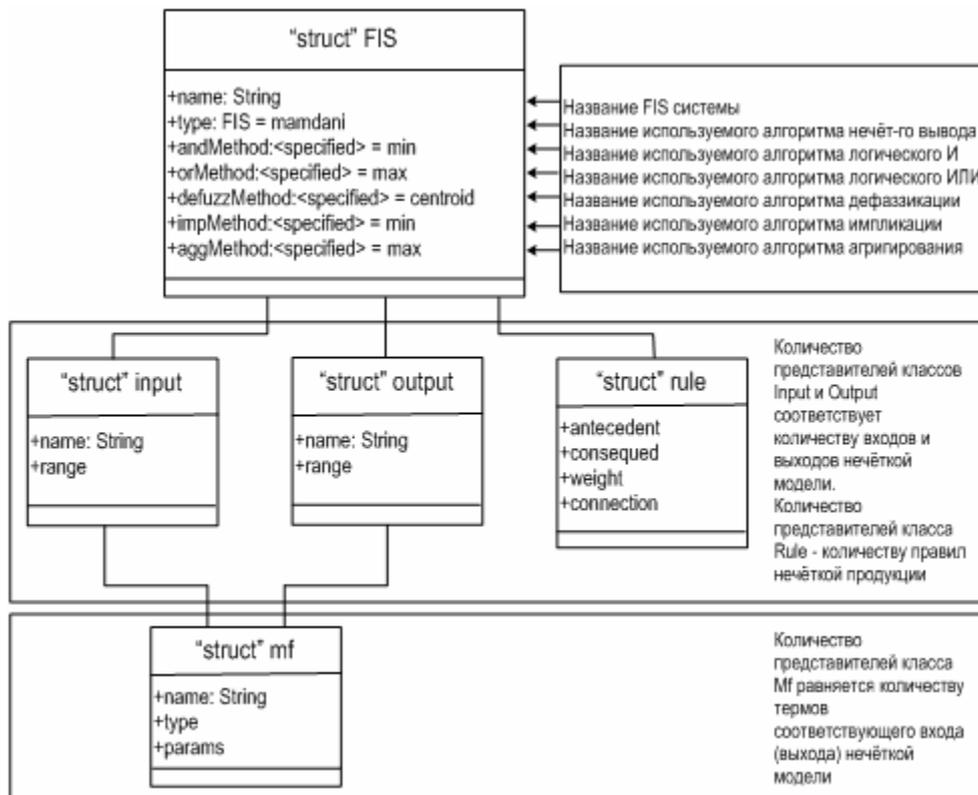


Рисунок 1 - Диаграмма классов структур системы нечёткого вывода

Каждая система нечёткого вывода в MatLab представляется в виде специальной структуры, которая использует специальный цифровой формат. Данные системы хранятся структурировано и формируются в виде иерархии классов (см. рисунок 1). При этом все правила системы нечёткого вывода представляются в виде матрицы, содержащей одну или несколько строк (каждой строке соответствует отдельное правило). Если система нечёткого вывода имеет  $m$  входных и  $n$  выходных переменных, то соответствующая матрица должна иметь  $m+n+2$  столбцов. Первые  $m$  столбцов относятся ко входным переменным, а следующие  $n$  – к выходным. При этом каждый столбец должен иметь номер, который должен соответствовать номеру функции принадлежности для выходной переменной. Столбец с номером  $m+n+1$  содержит вес, с которым применяется данное правило. По умолчанию вес равен 1. Столбец с номером  $m+n+2$  содержит число 1, если для подусловий данного правила используется нечёткий оператор *AND* (нечёткое И), 2 – если используется нечёткий оператор *OR* (нечёткое ИЛИ).

Так описания динамических нагрузок на режущий инструмент роторного окорочного станка зададимся следующими лингвистическими переменными, описывающими профиль обрабатываемой поверхности:

- переменная  $A$  – низкочастотная составляющая – описывает макронеровности вдоль оси лесоматериала (кривизна, величина сбег, овальность и т.д.);

- переменная  $B$  – высокочастотная составляющая – описывает микронеровности вдоль окружности лесоматериала (сучки, неровности, гниль, другие пороки).

Результатом использования нечёткой продукции является значение лингвистической переменной  $C$  – значение динамическая нагрузка на режущий инструмент.

Для системы нечеткого вывода строится база правил нечёткой продукции в виде нечетких лингвистических высказываний, например:

1. «ЕСЛИ  $B$  низкое и  $A$  низкое, ТО  $C$  низкое»;
2. «ЕСЛИ  $B$  низкое и  $A$  среднее, ТО  $C$  среднее»;
3. «ЕСЛИ  $B$  низкое и  $A$  высокое, ТО  $C$  высокое»;
4. «ЕСЛИ  $B$  среднее и  $A$  низкое, ТО  $C$  низкое»;
5. «ЕСЛИ  $B$  среднее и  $A$  среднее, ТО  $C$  высокое»;
6. «ЕСЛИ  $B$  среднее и  $A$  высокое, ТО  $C$  высокое»;
7. «ЕСЛИ  $B$  высокое и  $A$  низкое, ТО  $C$  среднее»;
8. «ЕСЛИ  $B$  высокое и  $A$  среднее, ТО  $C$  высокое»;
9. «ЕСЛИ  $B$  высокое и  $A$  высокое, ТО  $C$  очень высокое».

Правила нечёткой продукции в рабочей области MatLab представляются в виде матрицы:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 3 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 3 & 1 & 1 \\ 2 & 3 & 3 & 1 & 1 \\ 3 & 1 & 2 & 1 & 1 \\ 3 & 2 & 3 & 1 & 1 \\ 3 & 3 & 4 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Графики термов лингвистических переменных показаны на рисунке 2.

Для реализации процесса нечеткого вывода используются блоки с несколькими входами. Поскольку база правил нечеткой продукции содержит большое количество нечетких высказываний, при этом с увеличением их количества точность вывода повышается, то организуется множество блоков. Если нечеткий вывод проводится на одном уровне блоков, то для продолжения вывода выходы блоков одного уровня связаны

с входами на другом уровне, и в результате образуется структура нейролингвистической сети. Разработка таких сетей эффективно выполняется в системе Simulink и Fuzzy Logic Toolbox.

При разработке модели процесса окорки учитывалось, что поскольку База Данных всей системы (моделирование статистических параметров лесоматериалов, система нечетких высказываний) выполнены в Delphi, то в этой среде и организована оболочка программы.

Организации нечеткого вывода выполняются в пакете MatLab, с которым обеспечена синхронизация и обмен расчетными данными.

Работа со средствами НМ показала некоторые особенности приложений. Так пакет Toolbox целесообразно использовать для отработки в интерактивном режиме отдельных компонентов модели. Среда Simulink меньше приспособлена для таких целей, но в этом приложении может быть более эффективно выполнена разработка и отладка сложной математической модели объекта или многоуровневой нейролингвистической сети.

Теоретически предполагается, что в пакете MatLab количество уровней вложений не ограничено, однако это касается классических множеств, а для НМ сеть из пяти – шести уровней требует особой организации, так как добавление входных переменных увеличивает сложность вычислений экспоненциально и на практике становится уже не работающей. В этом случае необходимо разрабатывать особые средства, условия «обучения» сети, иначе программа начинает выполнять бесконечный цикл или выдаются данные с нулевыми результатами.

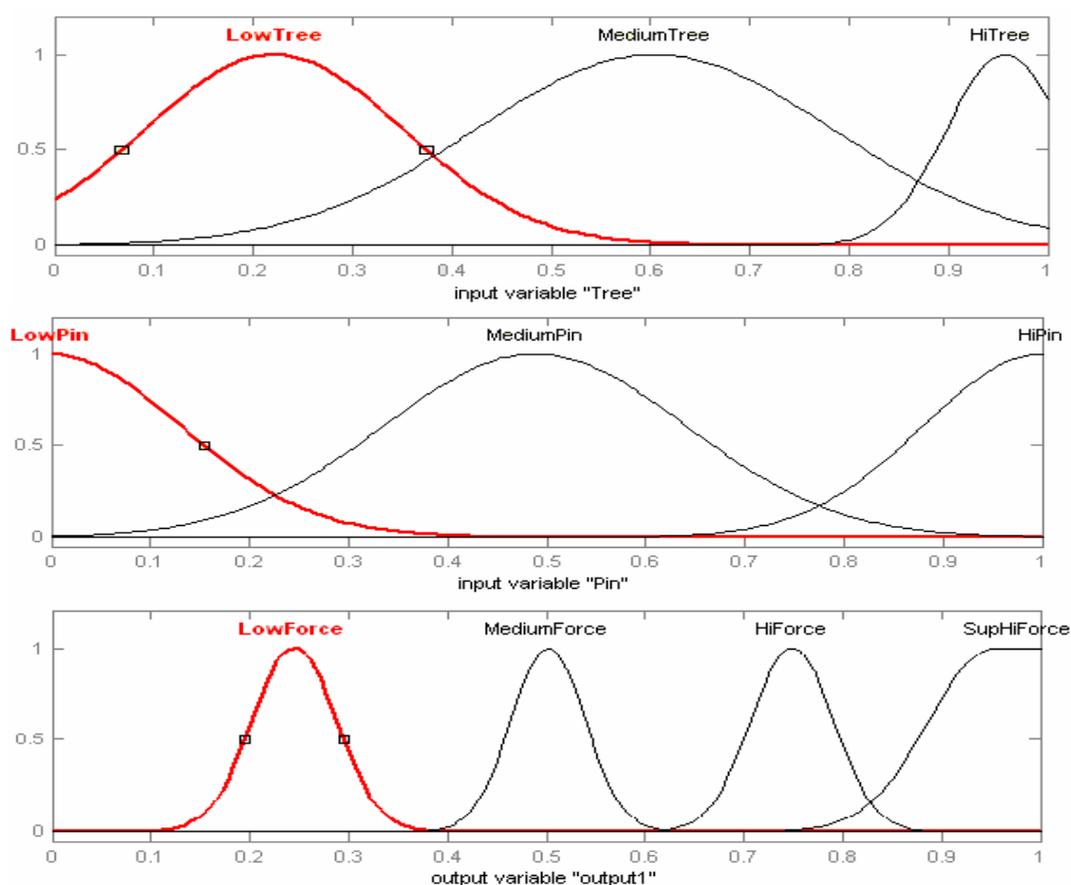


Рисунок 2 - Графики термов лингвистических переменных A, B, C.

С учетом таких особенностей в модели предусмотрена организация не более трех уровней. При этом в среде Simulink для нечеткого вывода используется процедура об-

работки данных с помощью нечетких микроконтроллеров, объединенных вместе. Каждый элемент получившейся нечеткой сети обозначается как нечеткий узел. Выходы узлов одного уровня связаны с входами узлов другого, в результате все вычисления упрощаются. Этот подход можно назвать нечетким предвычислением (рисунок 3). Выходы нечетких узлов объединены с помощью мультиплексора, таким образом достигается более гладкий переход между множеством получающихся после обработки базы правил выводов.

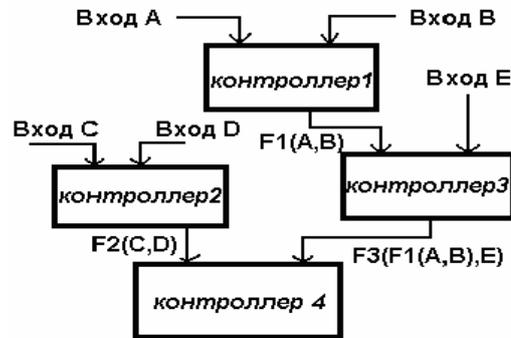


Рисунок 3- Нечёткие предвычисления

Основываясь на базе правил ТНМ, разработан алгоритм моделирования динамических нагрузок на механизм резания в процессе обработки лесоматериалов на РОС. В результате расчетов получена поверхность нечеткого вывода (рисунок 4) зависимости совместного влияния микропрофиля вдоль и по окружности лесоматериала на динамические нагрузки рабочего органа.

В процессе вычислений операции взятия минимума, максимума над нечеткими множествами, логические операции "И", "ИЛИ", "НЕ", производятся с помощью применения бинарных операций - t-норм или триангулярных норм к нечетким множествам. Последним этапом, дефаззификацией, является обратное преобразование результата, полученного в виде нечеткого множества, в числовое значение нечеткого вывода. Базовыми типами такого рода регуляторов используются контроллеры Мамдани и Суджено.

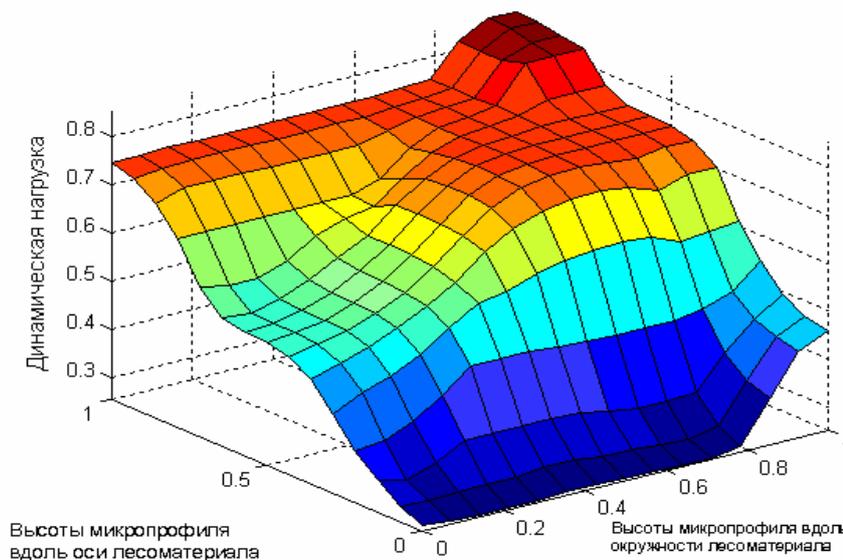


Рисунок 5 - Поверхность картины нечёткого вывода динамических нагрузок

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При создании моделей на основе теории нечеткого вывода наиболее приспособленной средой реализации являются приложения Simulink и Fuzzy Logic Toolbox системы MatLab. Наличие специальных средств позволяет эффективно выполнить разработку многоуровневых алгоритмов, в том числе организованных в виде нейролингвистических сетей.

Наиболее реалистичная модель рабочих процессов роторного окорочного станка может быть построена на основе двух различных методов - имитационного моделирования статистических параметров лесоматериалов и теории нечетких множеств, для получения процесса динамических нагрузок короснимателей. Такую структуру с Базой Данных рациональнее организовать в системе объектно - ориентированного языка с синхронизацией ядра программы с пакетом MatLab.

Полученные в результате моделирования по разработанному алгоритму процесса динамических нагрузок спектральные и амплитудные характеристики достаточно точно согласуются с экспериментальными данными, что говорит об адекватности модели.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берстенёв А.В., Побединский В.В., Санников С.П. Система автоматического управления рабочими органами роторного окорочного станка. – Сборник докладов второй научно-техн. конф. молодых специалистов. – Екатеринбург: УГЛТУ, 19 апреля 2006 г.
2. Побединский В.В. и др. Имитационная модель процесса окорки лесоматериалов на роторных окорочных станках. – В кн.: Вклад ученых и специалистов в развитие химико-лесного комплекса. / Тез. докл. к Обл. научно-техн. конф. – Свердловск, УЛТИ, 1-3 февраля 1989 г.
3. Берстнев А.В., Побединский В.В., Шуняев С.Н. Применение алгоритмов нечеткого вывода в моделировании объектов с нестрогими параметрами. – В кн.: Ракетно-космическая техника. Научно-техн. сб. Системы управления ракетных комплексов. III науч.-техн. конф. молодых специалистов НПОА: -Екатеринбург: Федер. аг. ФГУП НПО «Автоматика» им. Академика Н.А. Семихатова, 9-11 апреля 2006 г.
4. Демидова Л.А., Кираковский В.В., Пылькин А.Н. Алгоритмы и системы нечеткого вывода при решении задач диагностики городских инженерных коммуникаций в среде MatLab. – М: Радио и связь, Горячая линия-Телеком, 2005 – 305 с.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РЕЗАНИЯ ЛЕСОПИЛЬНЫХ РАМ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ СИЛОВЫМИ ПОТОКАМИ И СИНХРОНИЗИРУЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ**

**Кузнецов А.И., Новоселов В.Г.** (УГЛТУ, Екатеринбург, РФ)

[akwer@yandex.ru](mailto:akwer@yandex.ru)

### **MODELING OF THE MECHANISM OF LOG FRAMES WITH PARALLEL POWER STREAMS AND THE SYNCHRONIZING ELEMENT**

Важнейшим звеном в лесопильном производстве являются лесопильные рамы. Их существенным недостатком являются неуравновешенные силы инерции подвижных масс кривошипно-шатунного механизма, вызывающие вибрацию. Этот недостаток устранен в механизмах лесопильных рам (ЛРВ-2, РУН63) с планетарными преобразователями вращательного движения в возвратно-поступательное. Кинематическая схема механизма приведена на рисунке 1. На схеме индексами Л и П обозначены соответствующие симметричные элементы левого и правого преобразователей и их приводов.

В этих механизмах полностью уравниваются вертикальные и горизонтальные силы, действующие на фундамент. Однако при смене скорости и направления движения пильной рамки происходит перекладка зазоров в зубчатых парах. Вследствие этого может возникать ударная нагрузка на зубья и происходить их постепенное разрушение.

Кроме того, механизм имеет достаточно сложную структурную и кинематическую схему, включающую два замкнутых силовых контура:

- синхронизирующий вал – правый и левый преобразователи - траверса пильной рамки;
- синхронизирующий вал – правый и левый приводы – электрическая сеть.

Ввиду различия механических характеристик асинхронных двигателей, неравенства фактических передаточных отношений ременных передач и упругого скольжения в них, кинематических погрешностей в зубчатых передачах планетарных преобразователей неизбежно возникновение паразитных потоков мощностей и дополнительных нагрузок на звенья механизма и его приводов. В частности, в практике эксплуатации наблюдаются усталостные изломы синхронизирующих валов.

Учесть эти факторы и их влияние на динамические нагрузки и на надежность механизма можно, имея адекватную динамическую модель. Для механизма с планетарным преобразователем разработанная нами [1, 2] динамическая модель представлена на рисунке 2.

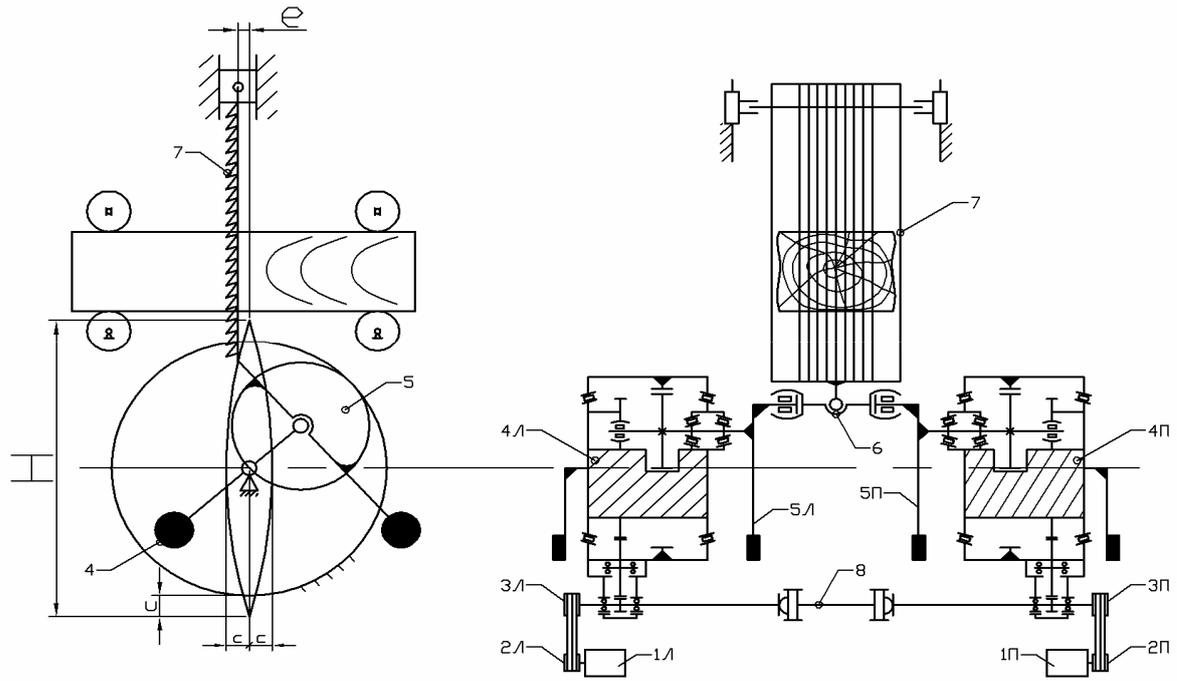


Рисунок 1 - Кинематическая схема механизма резания лесопильной рамы с планетарным преобразователем: 1П,1Л – роторы электродвигателей; 2П,2Л - ведущие шкивы приводов; 3П,3Л - ведомые шкивы приводов; 4П,4Л – водила; 5П,5Л - сателлиты; 6 - траверса, 7- пильная рамка; 8 – синхронизирующий вал

Данная динамическая модель описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\Theta_{1Л} \frac{d\omega_{1Л}}{dt} = M_{10Л} - M_{12Л}; \quad \Theta_{1П} \frac{d\omega_{1П}}{dt} = M_{10П} - M_{12П}; \quad (1,2)$$

$$\Theta_{2Л} \frac{d\omega_{2Л}}{dt} = M_{21Л} - M_{23Л}; \quad \Theta_{2П} \frac{d\omega_{2П}}{dt} = M_{21П} - M_{23П}; \quad (3,4)$$

$$\Theta_{3Л} \frac{d\omega_{3Л}}{dt} = M_{32Л} - M_{34Л}; \quad \Theta_{3П} \frac{d\omega_{3П}}{dt} = M_{32П} - M_{34П}; \quad (5,6)$$

$$\Theta_{4Л} \frac{d\omega_{4Л}}{dt} = -\frac{\omega_{4Л}^2}{2} \frac{d\Theta_{4Л}}{d\varphi_{4Л}} + M_{43Л} - M_{4Л} - M_{4Л4П}; \quad (7)$$

$$\Theta_{4П} \frac{d\omega_{4П}}{dt} = -\frac{\omega_{4П}^2}{2} \frac{d\Theta_{4П}}{d\varphi_{4П}} + M_{43П} - M_{4П} - M_{4П4Л}, \quad (8)$$

где  $\Theta_{iЛ}$ ,  $\Theta_{iП}$  – моменты инерции,  $\omega_{iЛ}$ ,  $\omega_{iП}$  и  $\varphi_{iЛ}$ ,  $\varphi_{iП}$  – угловые скорости и углы поворота вращающихся звеньев левого (Л) и правого (П) преобразователей и приводов;  $M_{ijЛ}$ ,  $M_{ijП}$  – реакции связей;  $M_{4Л}$ ,  $M_{4П}$  – моменты сил сопротивления приведенные водилам.

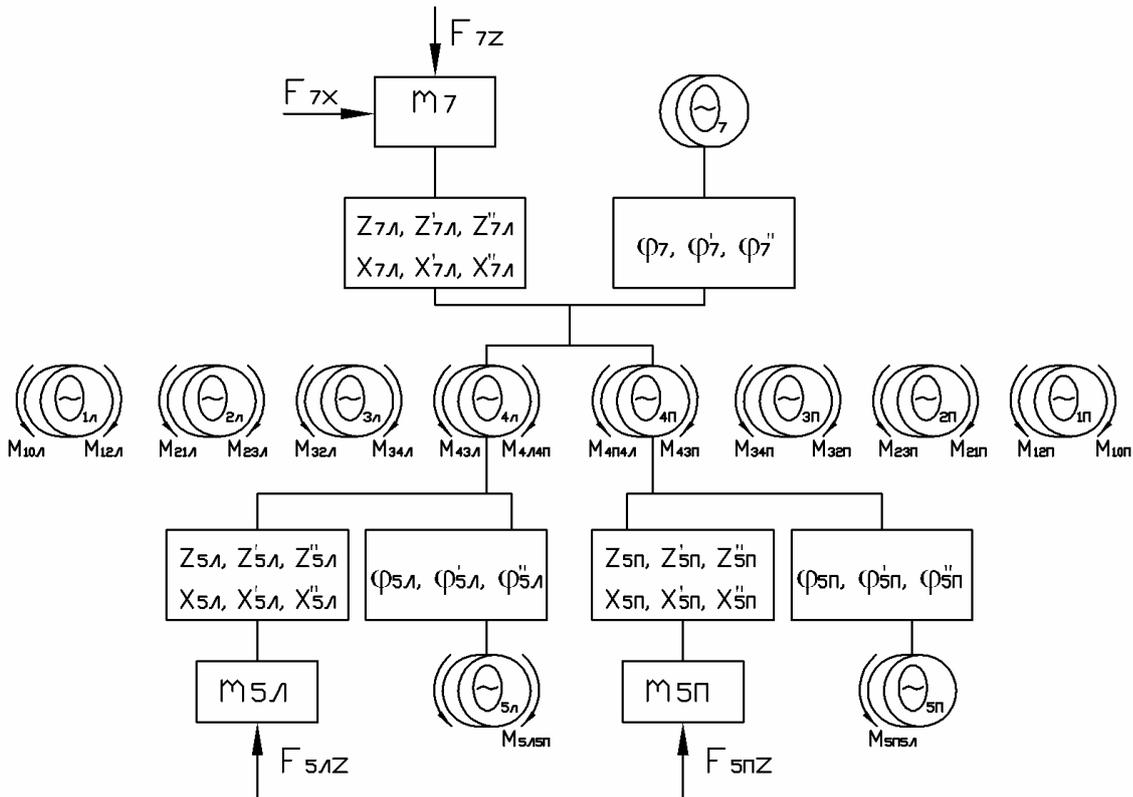


Рисунок 2 - Динамическая модель механизма резания лесопильной рамы с планетарным преобразователем

Реакция нестационарной электромагнитной связи ротора и статора двигателей приводов определяется из дифференциальных уравнений связи [3]:

$$\frac{dM_{10Л(П)}}{dt} = (\omega_0 - \omega_{1Л(П)})p\psi - \frac{M_{10Л(П)}}{T_{\mathcal{E}}}; \quad (9)$$

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{2M_{\kappa} - \psi}{T_{\mathcal{E}}} - (\omega_0 - \omega_{1Л(П)})pM_{10Л(П)} \quad (10)$$

где  $\omega_0$  – угловая скорость магнитного поля статора;  $p$  – число пар полюсов статора;  $T_{\mathcal{E}}$  – электромагнитная постоянная времени;  $\psi$  – вспомогательная переменная;  $M_{\kappa}$  – критический момент двигателя.

Упруго – диссипативные реакции валов двигателей, синхронизирующего вала и траверсы  $M_{ij}$  определяются по общей формуле:

$$M_{ij} = C_{ij}\varphi_{ij} + b_{ij} \frac{d\varphi_{ij}}{dt}, \quad (11)$$

где  $C_{ij}$  – коэффициент жесткости упругой связи между  $i$  – тым и  $j$  – тым звеном;  $b_{ij}$  – коэффициент неупругого (диссипативного) сопротивления связи между  $i$  – тым и  $j$  – тым звеном;  $\varphi_{ij}$  – угол относительного поворота  $i$  – того и  $j$  – того звена.

Упругопластическая характеристика ременной передачи аппроксимируется дифференциальным уравнением [4]:

$$\frac{dM_{23Л(П)}}{dt} = gr \frac{l(\omega_{2Л(П)} - \omega_{3Л(П)} D_{3Л(П)} / D_{2Л(П)}) - tg(M_{23Л(П)} / d)}{l \cdot \exp|M_{23Л(П)} / g|}, \quad (12)$$

где  $d, g, l, r$  – аппроксимирующие коэффициенты;  $D_{2Л(П)}, D_{3Л(П)}$  – расчетные диаметры ведущего и ведомого шкивов левого и правого приводов.

Поскольку, получить решение данной системы дифференциальных уравнений в аналитическом виде невозможно, будем исследовать данную модель методами численного моделирования.

Для решения поставленной задачи удобно использовать пакет визуально-ориентированного программирования Simulink, входящий в состав системы Matlab. Модель механизма резания лесопильных рам с параллельными силовыми потоками и синхронизирующим валом представлена на рисунке 3.

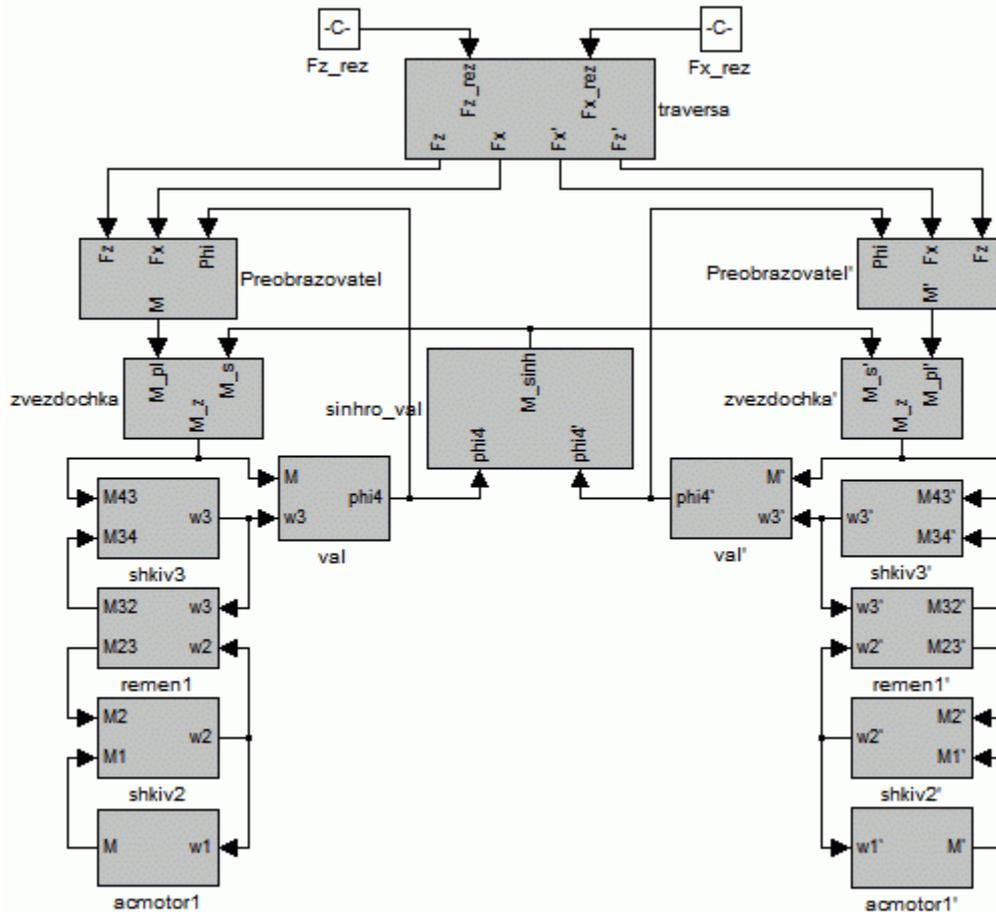


Рисунок 3 - модель механизма резания

Исследуемая модель представлена системой с входящими в неё подсистемами на рисунке 4, часть, которых, в свою очередь, содержит внутренние подсистемы. Каждая подсистема представляет собой самостоятельную структурную единицу и при необходимости может использоваться для исследования других моделей.

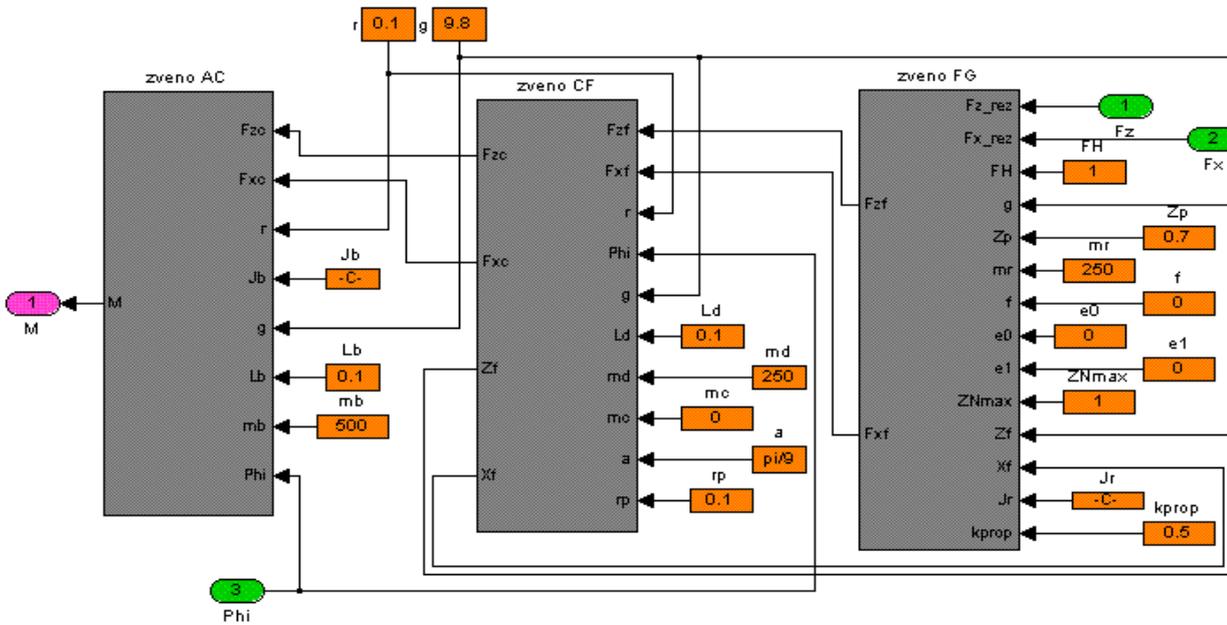


Рисунок 4 – Подсистема «Преобразователь»

Для обмена информацией между подсистемами, последние используют порты ввода и вывода. При моделировании механической модели удобно использовать для связи элементов такие параметры как момент и угловую скорость.

Подсистемы, в математическом описании которых используются обыкновенные дифференциальные уравнения, могут моделироваться в специализированном блоке Differential Equation Editor (рисунок 5) в математическом виде. Среда Simulink содержит множество блоков для генерирования различных сигналов, среди них имеется блок «From File» с помощью которого задавались горизонтальные и вертикальные силы резания, полученные в результате натурного эксперимента из источника [5]. Для вывода результатов эксперимента используются средства: блоки «scope» и «XY Graph» – для отображения информации виде

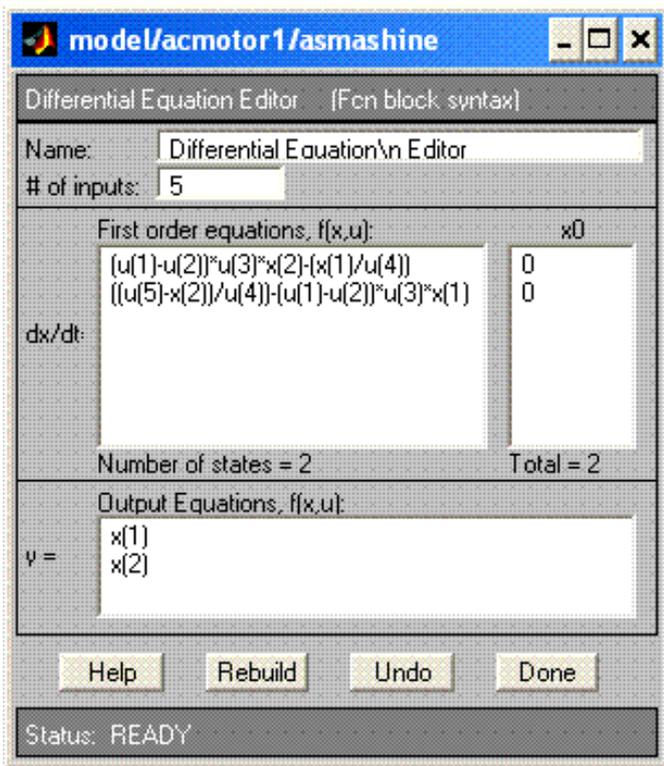


Рисунок 5 - Уравнения (6,7) в блоке Differential Equation Editor

графика, блок «To File» - вывод результатов в файл и другие. Экспериментирование над моделью, построенной в пакете Simulink, позволяет оперативно и наглядно представлять результаты численного эксперимента при изменении различных параметров и свойств модели, и тем самым определить оптимальное их сочетание.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новоселов В.Г, Кузнецов А.И. Исследование модернизированного планетарного механизма резания лесопильной рамы с гибким звеном.// Изв. вузов. Лесной журн., 2005, №3, - С.84-90
2. Новоселов В.Г, Кузнецов А.И. Динамическая модель механизма резания лесопильной рамы с планетарным преобразователем.// Наука и образование на службе лесного комплекса: Матер. меж. нар. науч.-практ. конф. Т.2. – Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2005. – С. 99 – 103
3. Левин А.И. Математическое моделирование в исследованиях и проектировании станков. – М.: Машиностроение, 1978. – 184 с.
4. Новоселов В.Г. Моделирование крутильно-вращательных колебаний в приводе оборудования.// Виброакустические процессы в оборудовании целлюлозно-бумажных производств. – Екатеринбург: УГЛТА, 1995. – С. 118-124.
5. Белошейкин В.С. Улучшение эксплуатационных показателей бесфундаментных лесопильных рам.// Дис. канд. техн. наук: 05.21.05 – Л. 1988. – 232 с.

### **ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВЫХ ПНЕВМОМОТОРОВ**

**Раевская Л. Т.** (УГЛТУ, г.Екатеринбург, РФ) [raevskaya@usfeu.ru](mailto:raevskaya@usfeu.ru)

### ***DYNAMIC MODELLING OF THE IS INTENSE-DEFORMED CONDITION OF ELEMENTS AXIAL-PISTON AIR MOTORS***

#### **1. Описание конструкции аксиально-поршневого пневматического двигателя типа ДАР**

Из аксиально-поршневых моторов многократного действия наибольшее применение в машиностроении лесного и горного комплекса нашли реверсивные аксиально-поршневые пневматические двигатели (пневмомоторы) типа ДАР с синусоидальным кулачковым диском ротора [1]. Двигатели ДАР имеют бесшатунный механизм преобразования возвратно-поступательного движения поршней во вращательное движение выходного вала ротора. Динамический момент создается поршнями двухстороннего действия, каждый из которых имеет два подшипника, охватывающих синусоидальную профильную дорожку ротора. Двухсторонний профиль ротора очерчен огибающими кривыми, положение которых определяется дугами радиусов шлифовальных кругов при движении их центров по двум эквидистантным (на расстоянии  $d_m$ ) синусоидальным кривым. Сжатый воздух по воздухораспределительным каналам шейки ротора поступает в поршневые полости и создает усилие, которое через подшипники поршней передается на профильную дорожку ротора, приводя к появлению динамического момента.

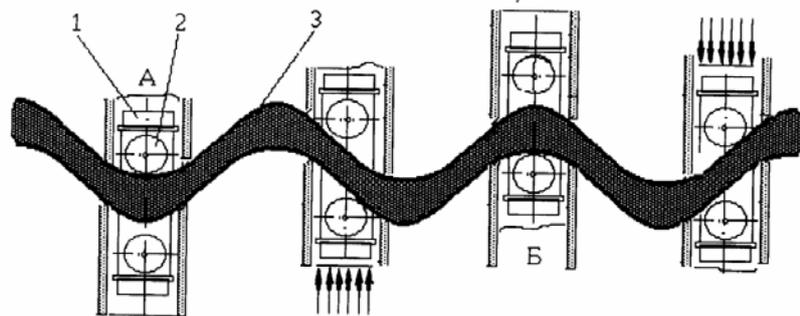


Рис.1 Схематическое изображение в виде развертки реверсивного аксиально-поршневого пневматического двигателя

Поршни двустороннего действия расположены в двух частях блока цилиндров и через ролики (наружное кольцо подшипника) взаимодействуют с синусоидальным профилем центрально расположенного кулачкового диска ротора. Число волн синусоиды диска задает кратность хода поршней. За время одного оборота ротора поршень делает три двойных хода.

Для более равномерного вращения ротора вдоль периферии кулачкового диска устанавливают несколько поршней. Соосное расположение поршней и выходного вала позволяет снизить габариты и массу пневмомоторов. Эти двигатели по сравнению с радиально-поршневыми той же мощности имеют в полтора-два раза меньшие габариты и массу

Преимуществами аксиально-поршневых пневмомоторов являются не только малые габариты, но и отсутствие загрязнения окружающей среды, высокая безопасность работы. Это обуславливает перспективность их применения в приводах технологических машин различного назначения.

## 2. Постановка задачи

Вместе с тем, опыт эксплуатации пневмомоторов на предприятиях показывает, что основные отказы в двигателе - 80% - приходятся на поршни и носят усталостный характер. Трещины появляются в зоне отверстия для пальца, на котором находится ролик, а также в области паза, через который проходит волнообразная поверхность торца кулачкового диска.

Как нами было получено, вблизи отверстий в теле поршня появляется концентрация повышенных напряжений, причем наибольшие из них могут в несколько раз превышать так называемые «средние напряжения» [2]. Недостаточное знание истинной картины напряженного состояния может привести к перетяжелению несущей конструкции или к разрушению. Поэтому проблеме концентрации напряжений уделяется большое внимание.

В настоящей работе рассматривается задача инженерного моделирования прочностной надежности элементов поршня и расчета напряженно-деформированного состояния при статическом нагружении с помощью программного комплекса ANSYS.

### 3. Математический аппарат

Математической основой, на которой построен вычислительный аппарат программного комплекса ANSYS, является метод конечных элементов (МКЭ), наиболее распространенный и достаточно универсальный метод анализа напряженно-деформированного состояния. В этом методе нет ограничений ни на форму тел, ни на способ приложения нагрузки. Основными моделями прочностной надежности, которые всегда присутствуют при проведении расчетов, являются модели материала, формы конструкции, условий нагружения, предельного состояния [3].

### 4. Результаты предыдущего расчета

Нами уже была предпринята попытка расчета поля напряжений в роторно-поршневой группе пневмомотора с использованием МКЭ [2]. Решение задачи численного анализа параметров режимов нагружения пневматического двигателя было выполнено в системе PC MatLAB, позволяющей работать с разреженными матрицами. Был разработан комплекс программ, который включал программы разбиения тела на конечные элементы, построения глобальной матрицы жесткости, учета граничных условий, вычисления напряжений, представления результатов расчетов.

В работе [2] сделаны следующие приближения:

- 1) поршень рассмотрен как цилиндрическая поверхность с заданным распределением отверстий определенной конфигурации; толщиной поршня пренебрегалось;
- 2) в качестве первого шага к расчету напряжений была сделана развертка поршня в деталь плоской формы; для расчета выбрана четверть развертки;
- 3) нагрузка была приложена вдоль линии пересечения торца поршня и цилиндрической поверхности

Эти приближения не позволили в полной мере получить картину поля напряжений в поршне, хотя вблизи отверстия был получен результат, совпадающий с теоретическими оценками. Концентрация напряжений возрастала вблизи отверстий и достигала максимальных значений 857,9 Па в области контакта поршня и пальца.

Область напряжений вблизи отверстия для пальца представлена на рис. 2.

### 5. Моделирование динамических процессов

Расчет динамических нагрузок, напряжений и усталостной долговечности в элементах поршня дает возможность точнее подобрать их параметры, добиться более полного соответствия динамических характеристик элементов поршня поставленным требованиям. Моделирование динамических процессов в роторно-поршневой группе с учетом упругой деформации и демпфирования поршня позволяет уточнить картину нагружения поршня и исследовать характер действующих в нем сил.

Для моделирования механическая система заменена эквивалентной ей колебательной системой, для которой составлено уравнение движения. После решения уравнения исследовано влияние параметров (коэффициентов) на поведение системы. В результате анализа решена проблема оптимизации параметров, исходя из картины динамического нагружения [4].

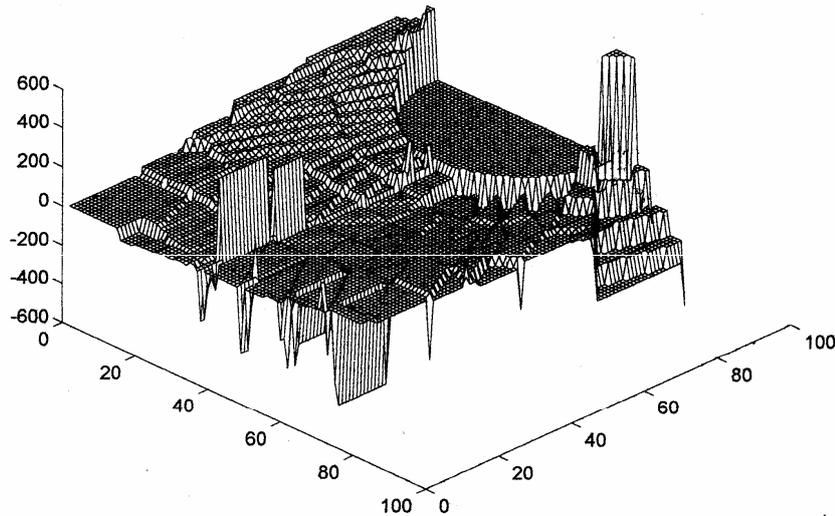


Рисунок 2 – Поле напряжений в области контакта пальца с поршнем

Колебательная система, эквивалентная поршню в сборе с пальцем и роликом - это точечная масса  $m$  (равная массе поршня), связанная с ротором с помощью пружины и вязкого демпфера, моделирующие упругие свойства данной механической системы. Жесткость диска ротора в первом приближении не учтена.

При динамическом режиме работы системы выходная величина - ускорение поршня - непрерывно меняется со временем, и вид функции  $a(t)$  зависит от типа внешнего воздействия и собственных динамических свойств системы. Внешнее воздействие в данном случае - это давления в рабочей камере  $P_1(t)$  и камере выхлопа  $P_2(t)$ , которые сами являются переменными величинами. Динамические процессы в общем случае описываются дифференциальными уравнениями.

Уравнение движения поршня вдоль оси  $X$ , совпадающей с осью поршня, составлено в виде

$$mx'' + b(x' - x_0') + c(x - x_0) = \pi d^2 [P_1(t) - P_2(t)] / 4, \quad (1)$$

где  $m$  - масса поршня,  $x(t)$ ,  $x_0(t)$  - координаты верхней точки головки деформируемого и недеформируемого поршня, соответственно;  $(x' - x_0')$  - скорость относительного движения этой точки,  $d$  - диаметр поршня,  $c$  - коэффициент жесткости,  $b$  - коэффициент демпфирования, характеризует вязкие свойства поршня,  $P_1(t)$ ,  $P_2(t)$  - давление в камере наполнения и камере выхлопа соответственно. Из закона движения центра ролика поршня в параметрическом виде и соотношения для расстояния от стенки цилиндра до точки, отстоящей от верхней точки профиля ротора на величину  $0,5(\delta_{ш} - H)$ , где  $\delta_{ш}$  - расстояние между центрами шлифовальных кругов,  $H$  - ход поршня, получили формулу для  $x_0$ , а именно

$$x_0(t) = l_H + 0,5H(1 - \cos \varphi(t)) + (R_{ш} - R_P)(D_{CP} - A) / A, \quad (2)$$

Здесь  $l_H$  - начальный зазор между поршнем и торцевой стенкой цилиндра,  $\varphi(t)$  - текущий угол синусоиды профиля ротора,  $R_{ш}$  - радиус шлифовального круга,  $R_P$  - радиус ролика,  $D_{CP}$  - средний диаметр волны ротора,  $A$  - параметр, зависящий от числа волн синусоиды  $n$

$$A = (n^2 H^2 \sin^2 \varphi(t) + D_{CP}^2)^{1/2}. \quad (3)$$

Была уточнена картина нагружения поршня и исследован характер действующих в нем сил. Исходя из картины динамического нагружения, были оценены коэффициенты жесткости элементов поршня в области линейных деформаций, подобран коэффициент демпфирования.

## 6. Расчет поля напряжений. Объемная задача

Опубликованные в [4] результаты использованы в настоящей работе для вычисления напряжений в теле поршня методом конечных элементов.

Внешние воздействия, распределенные вдоль поверхности торца поршня, приняты равными сумме статической нагрузки от давления воздуха в магистрали и динамической составляющей [4]. Расчетное значение полной нагрузки с учетом динамической составляющей для пневмомотора ДАР-14М получилось равным 5480 Н. Давление в магистрали газораспределительной системы  $0.5 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>. Жесткость системы С равна  $1.39 \cdot 10^9$  Н/м.

При расчете использована упрощенная твердотельная модель поршня пневмомотора. Не учтены радиусы скруглений в сопряженных стенках, некоторые мелкие выемки и пазы для поршневых колец (уплотнителей), небольшие отверстия и пр.

Геометрическая модель поршня была построена путем вращения на задаваемые углы фигур простых форм (геометрических примитивов). Этот шаг оказался наиболее трудоемким. Конечно-элементная модель поршня выполнена из объемных тетрагональных элементов с 10 узлами SOLID 92 с помощью произвольной сетки, которая построена автоматически. Поскольку поршень имеет плоскость симметрии, то для уменьшения трудоемкости задачи было принято решение рассмотреть половину детали, что сократило число элементов почти вдвое (теперь это число приняло значение порядка 24000).

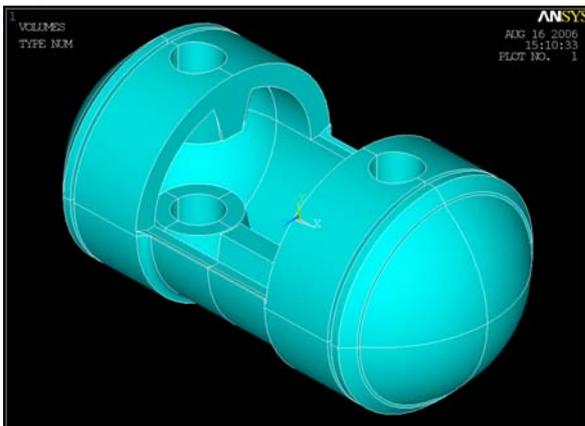


Рисунок 3 – Полная геометрическая модель поршня

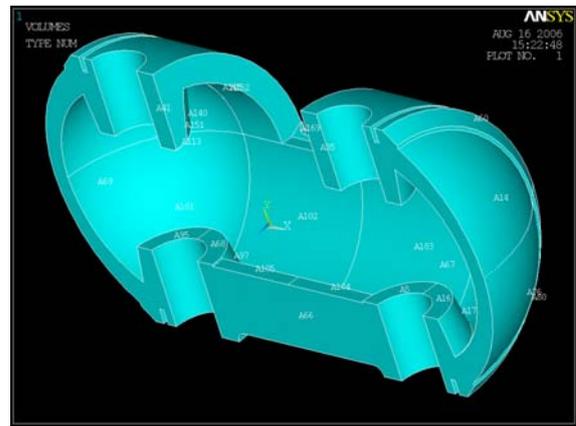


Рисунок 4 – Упрощенная геометрическая модель поршня

Материал поршня – изотропный с постоянными свойствами. В расчете приняты следующие характеристики материала. Модуль упругости  $E$  взят равным  $2 \cdot 10^{11}$  Па, коэффициент Пуассона – 0.3.

В качестве первого шага при решении прочностной задачи было решено определить только поле напряжений, собственные частоты колебаний будут определены позднее.

Схема закрепления. Запрещено движение сечения поршня плоскостью симметрии в направлении, перпендикулярном данному сечению. Кроме того, ограничено движение внутренней поверхности касания пальца и поршня с одной стороны поршня.

## 7. Результаты

В качестве результата задаем выдачу следующей информации: изменение формы поршня, наибольшее абсолютное смещение вдоль оси поршня, максимальное значение напряжения вдоль оси поршня, поле напряжения в режиме анимации. Полученные максимальные и минимальные значения приведены в табл. 1.

Теоретические оценки напряжений по оси X дали значения  $0,44 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$ .

Как видно из таблицы, расчетные данные совпадали с оценочными.

Изменение формы в виде анимации дает возможность увидеть сам процесс деформации. Наибольшее смещение происходит в точках на границе паза под ротор. Наибольшие напряжения возникают в областях опоры под палец смежных с торцом цилиндра и с ребром жесткости.

Таблица 1. Абсолютные смещения (мм), напряжения (Н/м<sup>2</sup>) и реакции (Н) в узлах в системе глобальных координат

=====						
THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES						
NODE	UX	UY	UZ			
MAXIMUM ABSOLUTE VALUES						
NODE	2212	2232	11866			
VALUE	-0.14519E-02	-0.19792E-02	0.27803E-03			
=====						
***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****						
THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES						
NODE	SX	SY	SZ	SXY	SYZ	SXZ
MINIMUM VALUES						
NODE	1391	1281	11849	18352	11849	12416
VALUE	-0.51190E+07	-0.34239E+07	-0.30295E+07	-0.18932E+07	-0.10384E+07	-0.82329E+06
MAXIMUM VALUES						
NODE	572	11609	1295	13443	18200	14229
VALUE	0.42853E+07	0.25226E+07	0.20933E+07	0.20277E+07	0.64693E+06	0.21313E+07
=====						
PRINT REACTION SOLUTIONS PER NODE						
***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****						
THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN GLOBAL COORDINATES						
NODE	FX	FY	FZ			
TOTAL VALUES						
VALUE	0.12629E+10	0.61257E-03	-0.60885E+09			
=====						

На рис. 5-10 приведены графические результаты решения задачи.

На рис. 6 указано максимальное значение смещения по оси x; видно, что сильно смещена внутренняя поверхность отверстия под палец, к которой не были приложены граничные условия. Видно, что сильно смещена внутренняя поверхность отверстия под палец, к которой не были приложены граничные условия.

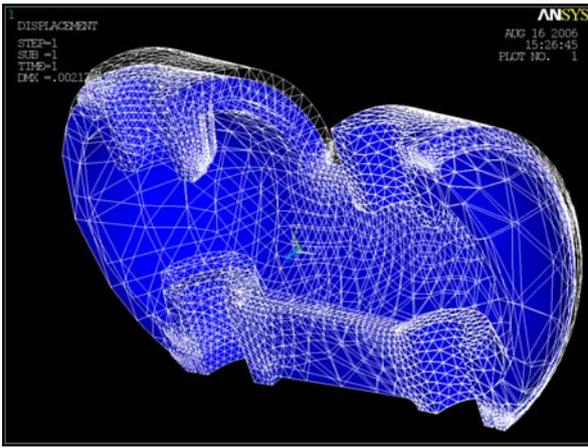


Рисунок 5 – Совмещенные изображения половины поршня до и после приложения нагрузок в пространстве

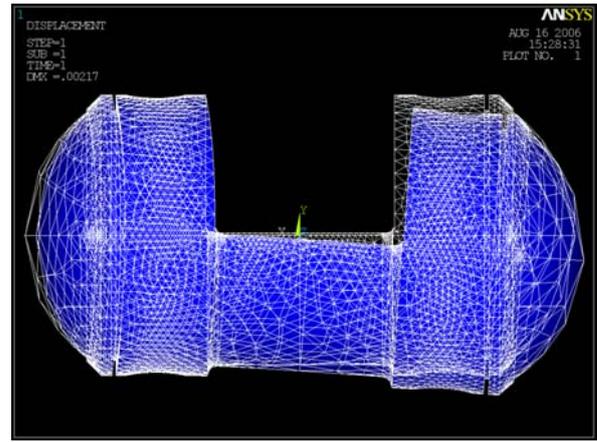
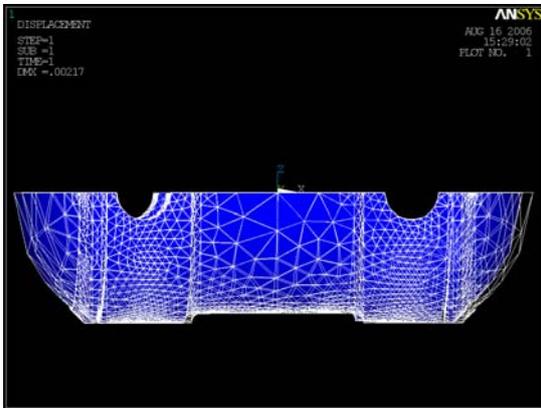
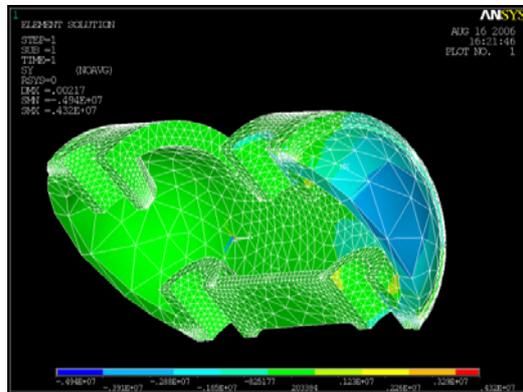


Рисунок 6 – Совмещенные изображения половины поршня до и после приложения нагрузок в пространстве в плоскостях ХУ



а)



б)

Рисунок 7 – Совмещенные изображения половины поршня до и после приложения нагрузок в пространстве (а) и в плоскостях ХZ (б), с указанием максимального значения смещения по оси х

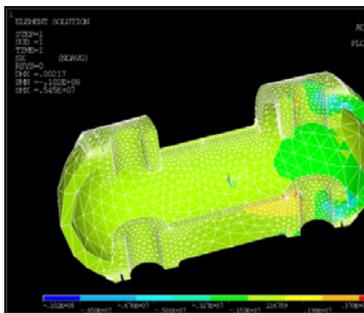


Рисунок 8

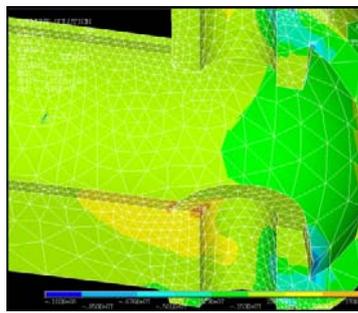


Рисунок 9

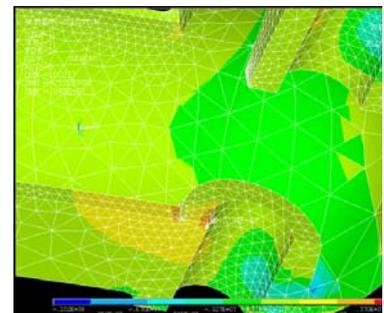
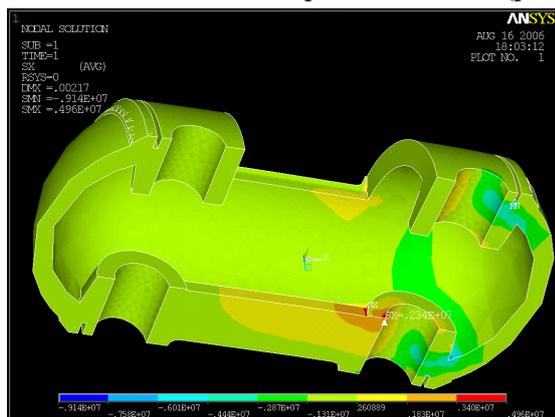


Рисунок 10

На рис. 8-10 показано трехмерное цветное изображение поля нормальных напряжений в плоскостях перпендикулярных осям X и Y, на полях рисунков показаны максимальные и минимальные значения напряжений с указанием номеров соответствующих элементов.

На увеличенном изображении опоры под палец с полем напряжений в цвете отчетливо видна область красного цвета (растяжение) на внутренней части опоры и в районе контакта с ребром жесткости и область темно-синего цвета (сжатие) на противоположной стороне опоры.



На усредненном поле напряжений без сетки (рис. 11) видно, что угол паза также испытывает деформацию растяжения, превышающую средние значения, так что можно рекомендовать конструктивно изменить форму паза, сделав, например выточку в углу, чтобы убрать концентратор напряжений в этих точках.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зинкевич В. Д., Ярмоленко Г. З., Калита Е. Г. Пневматические двигатели горных машин. М.: Недра. 1975 г., 344 с.
2. Раевская Л.Т. Исследование поля напряжений в теле поршня пневматического двигателя. Сб. тезисов докладов Международной научно-технической конференции. Т.1, с.318-319, 3-4, ноябрь, 2004, Государственный технический университет, Архангельск.
3. Каплун А. Б., Морозов Е. М., Олферьева М. А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. Изд. 2-е, испр. М.: Едиториа УРСС, 2004.-272 с.
4. Раевская Л. Т., Анкудинов Д. Т., Карякин А. Л. Моделирование динамических процессов в пневматическом двигателе привода горных машин. Сб. докладов 12-й международной конференции по автоматизации в горном деле ICAMC'95, стр. 537–540. 13–15, сентябрь 1995, Силезский технический университет, Гливице, Польша.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Гришкевич А.А., Аникеев А.Ф. (БГТУ, г. Минск, РБ)  
[dosy@bstu.unibel.by](mailto:dosy@bstu.unibel.by)

## EXPERIMENTAL INSTALLATION FOR RESEARCH of MILLING PROCESS OF WOOD And OTHER MATERIALS

Эксперимент является главным орудием научного метода познания, на котором основывается наука. Лишь эксперимент, дающий повторяющиеся результаты и поддающийся воспроизведению разными исследованиями, позволяет установить или подтвердить научную истину.

Эксперимент представляет собой систему операций, воздействий и наблюдений, направленных на получение первичной информации об объекте исследования.

Эксперимент включает в себя ряд опытов, проведенных по определенной методике с определенным уровнем точности воспроизведения исследуемого явления или фактора. Условия опытов определяются уровнями факторов, или значениями независимых переменных величин  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , по предположению влияющих на объект исследования. В результате проведения эксперимента устанавливается значение отклика, или переменной  $y$ , которая зависит от принятых в эксперименте факторов. В результате реализации эксперимента определяется зависимость математического ожидания отклика от факторов – функция отклика:

$$E\left\{\frac{y}{x}\right\} = \eta = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n; \Theta_1, \Theta_2, \Theta_3, \dots, \Theta_m),$$

где  $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3, \dots, \Theta_m$  – параметры модели. Геометрическое представление функции отклика называется поверхностью отклика.

Чаще всего эксперимент проводят для решения одной из двух основных задач. Первую задачу называют экстремальной. Она заключается в отыскании условий процесса, обеспечивающих получение оптимального значения выбранного параметра. Признаком экстремальных задач является требование поиска экстремума некоторой функции. Исследования, которые проводят для решения задач оптимизации, называют экстремальными. Вторую задачу называют интерполяционной. Она состоит в построении интерполяционной формулы для предсказаний значений изучаемого параметра, зависящего от ряда факторов. Для решения экстремальной или интерполяционной задачи необходимо иметь математическую модель исследуемого объекта. Модель объекта получают, используя данные, полученные в результате экспериментов. При исследовании многофакторного процесса (каким является процесс резания древесины и древесных материалов) постановка всех возможных опытов для получения математической модели связана с огромной трудоемкостью эксперимента, так как число всех возможных опытов очень велико.

Например, следует установить зависимость касательной силы резания от следующих факторов: угла резания  $\delta$ , толщины снимаемого слоя  $h$  и толщины стружки  $a$ . Примем следующие значения  $\delta = 3$ ;  $h = 5$ ;  $a = 5$ ; число повторов в опытах  $k = 10$ . Тогда общее число опытов:

$$n = \delta \cdot h \cdot a \cdot k = 3 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 10 = 750.$$

Задача планирования эксперимента состоит в установлении минимально необходимого числа опытов и условий их проведения, в выборе методов математической обработки результатов эксперимента и принятии решений.

В соответствии с тенденциями развития современной науки в методологии приняты системный и вероятностно-статистический подходы к исследованию процессов резания древесины и древесных материалов. Обобщенный процесс резания материалов рассматривается как динамическая система, а совокупности входных переменных и выходных параметров – как многомерные случайные процессы. Такой подход представляется перспективным ввиду интенсивного развития теории многомерных случайных процессов и аппаратного измерения их характеристик посредством многоканальных статистических анализаторов.

Таким образом, для получения необходимых и достоверных данных о процессе резания необходимо иметь экспериментальную установку.

Экспериментальная установка воспроизводит процесс резания материалов в заданных условиях и выдает первичную информацию о параметрах процесса в удобном для дешифрирования виде.

Экспериментальные установки для исследования процессов резания древесины и древесных материалов можно классифицировать по следующим признакам:

- а) общности исследования (универсальные и специализированные);
- б) длительности использования (постоянно действующие и разового использования);
- в) типу измерительной системы (централизованные и индивидуальные).

На кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов разработана, изготовлена и приведена в рабочее состояние экспериментальная установка [1] для исследования усилий резания и шероховатости обработанной поверхности при фрезеровании и пилении древесины и древесных материалов.

Так как древесина - материал, не обладающий сплошной и однородной структурой, то применение к созданию теоретических основ резания древесины законов и формул теории упругости и пластичности без экспериментальных данных не представляется возможным. Трудности, встречающиеся на пути по теоретическому обоснованию закономерностей резания древесины, заставили восполнить этот пробел экспериментальными исследованиями.

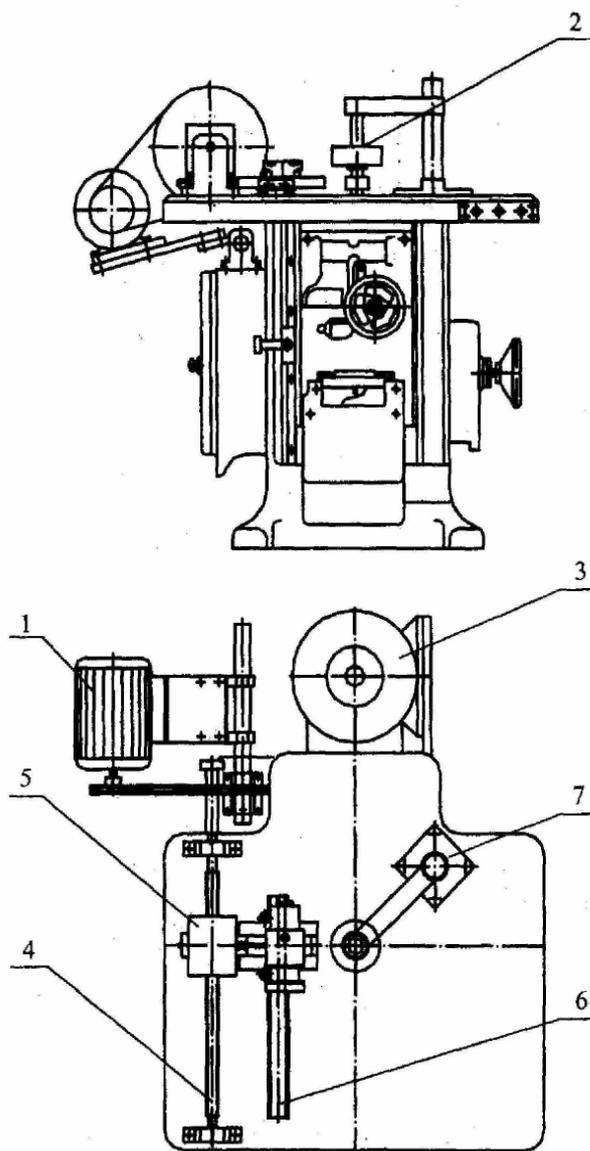
За сравнительно короткий промежуток времени проделана чрезвычайно большая экспериментальная работа, получившая особенное развитие в конце прошлого столетия [2]. Сами методы экспериментальных исследований за это время получили значительное развитие и усовершенствование с общим прогрессом технологии измерений, технологии производства.

Однако ряд вопросов теории резания древесины, и в особенности древесных материалов, требует дальнейших исследований и систематизации с целью выявления технологических факторов: режимов резания, конструкции режущих инструментов, стойкости инструмента, ресурсоэнергосбережения при резании.

При разработке экспериментальной установки учтены следующие требования:

- а) возможность осуществления производственных режимов резания;
- б) возможность измерения 2-х или 3-х компонентов усилия резания (касательную силу резания  $F_x$ , усилие подачи  $F_z$  и усилие, нормальное к подаче  $F_n$ );
- в) надежность и безопасность установки, жесткость ее узлов и наименьшая инерционность системы, регистрирующей усилие;
- г) простота обслуживания и тарировки.

Экспериментальная установка (рисунок) создана на базе вертикального фрезерного станка с нижним расположением шпинделя Ф-4. Установка оснащена специальными механизмами и устройствами, дающими возможность воспроизвести промышленные режимы резания в широком диапазоне переменных факторов.



Экспериментальная установка:

1 - привод механизма подачи;  
 2 - инструмент; 3 - привод механизма резания; 4 - механизм подачи;  
 5 - суппорт; 6 - направляющая стойка; 7 - динамометрическое устройство

Механизм резания включает электродвигатель типа 4А1002УЗ мощностью  $P_1 = 5,85$  кВт, синхронной частотой вращения  $n = 2880$  мин<sup>-1</sup>. Для плавного регулирования скорости резания применен преобразователь частоты фирмы TOSHIBA, модели VF-S9, со следующими параметрами: напряжение  $V = 400$  В, мощность  $P = 5,5$  кВт, частота  $f$  от 0,5 до 400 Гц.

Вращение от электродвигателя к шпинделю передается плоским ремнем. Шпиндель имеет специальную насадку, на которую установлена сборная фреза. Шпиндельная насадка

служит динамометром для регистрации крутящего момента. Тензоэлементы наклеены на поверхность шпиндельной насадки под углом 45° и соединены по мостовой схеме. Сигнал от датчиков передается на токосъемное устройство, установленное в верхней части насадки.

На процесс резания большое влияние оказывают углы резания. В связи с этим является необходимым применение такого режущего инструмента, который позволил бы увеличить угловые параметры в большом диапазоне на одной фрезе, не снимая ее со шпиндельной насадки.

Ножевая головка (А. с. № 665080 СССР) сконструирована таким образом, что можно изменить угол резания от  $\delta = 40^\circ$  до  $\delta = 85^\circ$ .

Механизм подачи, электродвигатель 4А90240УЗ мощностью  $P_2 = 2,2$  кВт, частотой вращения  $n_2 = 1425$  мин<sup>-1</sup>. Главное регулирование скорости подачи осуществляется также преобразователем частоты той же фирмы при следующих параметрах:  $V = 700$  В, мощность -  $P = 2,2$  кВт, частота  $f = 0,5 - 400$  Гц. Вращение от электродвигателя на исполнительный механизм осуществляется при помощи зубчатого ремня.

Таблица – Технические характеристики установки

Число режущих инструментов	1
Диаметр окружности резания, мм	125-180
Частота вращения режущего инструмента, мин <sup>-1</sup>	
минимальная	1
максимальная	9000
Скорость резания, м/с	
минимальная	0,5
максимальная	50
Ход суппорта подачи, м	1
Скорость подачи, м/мин	
минимальная	2
максимальная	70
Толщина стружки, мм	$U_z \cdot \sin\Theta$
Подача на резец, мм	
минимальная	0,0024
максимальная	6
Образцы	малые

В качестве исполнительного звена механизма подачи использовано винтовое устройство для обеспечения высокой кинематической точности и жесткости.

Длина винта  $l = 1$  м, диаметр  $d = 44$  мм. Гайка выполнена разъемной с двумя полугайками, между которыми установлены распорные пружины для ликвидации зазора во время работы. Гайка закреплена в специальном суппорте. Каретка с измерительным суппортом жестко связана с суппортом, в котором размещена гайка.

Запись усилий резания производится с помощью двухкомпонентного динамометра, представляющего собой тонкостенный стальной цилиндр (сталь ШХ15) с наклеенными на его стенки датчиками омического сопротивления. Подробное описание конструкции упругого элемента - цилиндра не приводим, т. к. оно достаточно полно и хорошо изложено в трудах Ивановского Е.Г.

Жесткость всей системы, (датчик, суппорт и приспособление для крепления образца) в направлении действия силы  $F_z$  по данным измерений в стенке цилиндра составляет 15 000 Н/мм, а в направлении действия нормальной силы  $F_n$  - 7600 Н/мм. Частота собственных изгибных колебаний цилиндра составляет  $f = 1000$  Гц.

Для неискаженного воспроизведения изучаемого процесса на осциллографе частота собственных колебаний механической и электрической системы измерительного динамометра должна быть в 5-10 раз больше частоты колебаний сил резания.

По данным классификации [3] средние толщины стружки, имеющие место на практике.

1. Тонкая чистовая стружка – 0,014 - 0,04 мм.

2. Чистовая стружка – 0,04 - 0,16 мм.

3. Макростружка – 0,16 - 0,4 мм.

Скорости резания по тем же данным делятся на область:

1) низких скоростей – 5 - 20 м/с;

2) средних скоростей – 20 - 60 м/с;

3) высоких скоростей – 60 - 100 м/с.

Интервал скорости резания от 20 до 40 м/с.

## Выводы.

1. На экспериментальной установке возможно проведение исследований процесса фрезерования древесины и древесных материалов в широком диапазоне переменных факторов.

2. Возможность регистрации усилий резания: усилия подачи  $F_x$  и усилия, нормального к подаче  $F_y$ .

3. Путем пересчета по формулам

$$F_x = F_k \cdot \cos \Theta + F_n \cdot \sin \Theta$$

$$F_y = F_k \cdot \sin \Theta + F_n \cdot \cos \Theta$$

находим касательную силу резания  $F_k$  и усилия нормальной к касательной  $F_n$ .

4. Можно также исследовать:

а) влияние износа и затупление резца на процесс стружкообразования при фрезеровании с «замораживанием» корня стружки;

б) влияние износа и затупления резца на усилия резания;

в) влияние износа и затупления резца на шероховатость обработанной поверхности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клубков А. П. Трехкомпонентная экспериментальная установка для исследования процессов резания древесины. – В сб: Механизация лесоразработок и транспорта леса. Вып. 1. – Минск: Вышэйшая школа. – С. 173-175.

2. Новые исследования резания древесины / В. Г. Ивановский, П. В. Василевская, Э. М. Лаутнер. – М.: Лесн. пром-сть, 1972. – С. 128.

3. Koberle J.: Richtlinien für die Wahl wirtschaftlicher Tourenzahlen an Kehl – und Frasemaschinen. Technische Rundschau, Bern. Jg. – 1955. – Н. 44, 45, 47, 48.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ СТАНОК – ПРИСПОСОБЛЕНИЕ – ИНСТРУМЕНТ – ДЕТАЛЬ

Лялько А.А., Фридрих А.П., Кузьмицкий И.Ф.

(БГТУ, г. Минск, РБ) [dosy@bstu.unibel.by](mailto:dosy@bstu.unibel.by)

## MODELING OF WOODWORKING PROCESSES IN CONDITIONS UNCERTAINTY OF SYSTEM PARAMETERS THE RIG – THE ADAPTATION – THE TOOL – THE DETAIL

Современные математические методы и средства вычислительной техники позволяют решать комплексные задачи анализа и синтеза электромеханических, гидромеханических, пневмомеханических и других реальных систем с должной степенью полноты, учитывая свойства всех входящих в общую систему узлов. Основная роль здесь принадлежит методам математического моделирования.

Несмотря на бесконечное многообразие конкретных конструктивных решений, реальные машины и механизмы могут быть представлены в виде структур, состоящих из укрупненных, агрегированных элементов, для которых известны и в той или иной мере исследованы математические модели. Любую машину, в том числе и деревообрабатывающий станок, при использовании системного подхода можно представить состоящей из следующих элементов: преобразователя энергии (ПЭ); двигателя (Д); устройства передачи движения (ЯД); рабочего процесса (РП); процесса рассеивания энергии (РЭ); несущей системы (НС).

Рассмотрение общей структуры объекта позволяет сделать вывод, что для эффективного применения методов математического моделирования к исследованию и расчету машин и механизмов различного назначения необходимо иметь типовые модели входящих в эту структуру элементов и знать правила их соединения в общую систему. В этом случае разнообразные задачи прикладной динамики машин обретают должную методическую общность как в части постановки, так и в части решения и интерпретации получаемых результатов.

Описание механических процессов резания древесины состоит в выражении величин  $Y_k$ , характеризующих процесс, в виде функциональной зависимости от различных переменных факторов  $x_i$ . Зависимости  $Y_k = f(x_i)$  для многих процессов механической обработки древесины можно классифицировать как:

1) силовые – по условиям резания  $F_p = f(x_i)$  и подачи  $F_n = f(x_i)$ , по мощностям резания  $P_p = f(x_i)$  и подачи  $P_n = f(x_i)$ ;

2) количественные – по неровностям поверхностей деталей; по ворсистости поверхности  $W = f(x_i)$ ; по точности размерообразований  $\Delta = f(x_i)$ ; по предельной волнистости  $s = f(x_i)$ ; по поперечной волнистости  $h = f(x_i)$ ;

3) технико-экономические – по себестоимости обработки  $C = f(x_i)$ , по производительности обработки  $\Pi = f(x_i)$ , по энергозатратам  $\Theta = f(x_i)$ .

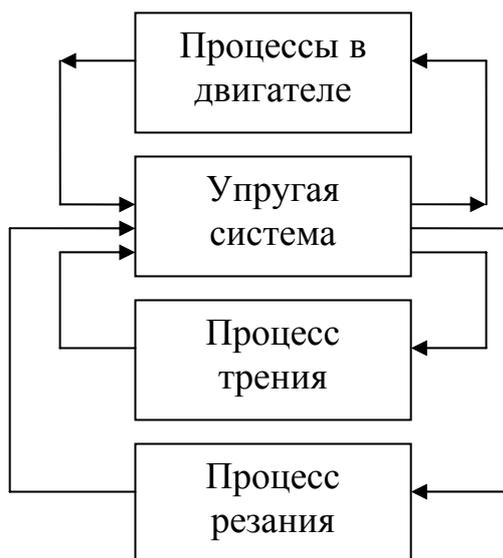


Рисунок 1 – Структурная схема дереворежущего станка

Учитывая, что технологические процессы в деревообработке, в частности процессы резания древесины, не поддаются точному теоретическому описанию, построение математических моделей ведут с использованием статистическо-экспериментальных методов. Для этой цели используют теорию планирования эксперимента. Применение активных и пассивных экспериментов позволяет получить зависимость выходной величины от различных воздействий  $y = f(x_i)$  в виде уравнений регрессии. Это особенно эффективно при оценке количественных и качественных показателей технологических процессов деревообработки.

При исследовании процесса резания фрезерованием были получены уравнения регрессии для сосны, березы и дуба (в кодированных переменных).

Уравнение регрессии для удельной силы резания в случае сосны (в кодированных переменных) имеет вид:

$$F_s = 12.355\ 206 + 4.79\ 1148x(1) + .873\ 120x(2) + \\ - 1.431\ 000x(3) + 3.080\ 400x(4) + \\ + 1.619\ 080x(5) + 1.170\ 000x(8) - \\ - .412\ 000x(9) - 0.484\ 500x(4)x(5) + \\ + .702\ 000x(3)x(4) + 1.679\ 100x(1)x(4) + \\ - .682\ 080x(1)x(2) - 2.719\ 794x(1)^2 - \\ - 1.215\ 000x(3)^2 + .380\ 250x(4)^2 - .739\ 840x(5)^2 + \\ + 1.130\ 000x(8)^2,$$

где  $x(1)$  – средняя толщина стружки;  $x(2)$  – плотность древесных материалов;  $x(3)$  – угол перерезания волокон;  $x(4)$  – угол резания;  $x(5)$  – радиус затупления режущей кромки;  $x(6)$  – скорость резания;  $x(7)$  – высота припуска;  $x(8)$  – фаска на задней грани;  $x(9)$  – диаметр фрезерования.

Для построения оптимальных систем управления необходимо получить динамические характеристики процесса резания.

Найдем изменение удельной силы резания во времени при линейном законе изменения радиуса затупления для случая сосны.

Изменение радиуса затупления резца имеет вид [1]

$$r = r_0 + \Delta r,$$

где  $r_0$  – начальный радиус затупления.

$$\Delta r = \gamma L,$$

здесь  $L$  – путь контакта;  $\gamma$  – прирост  $\Delta r$  на 1 м пути контакта.

Для кругового резца

$$L = \frac{hn}{\sin(\theta)1000} T,$$

где  $h$  – высота пропила, мм;  $n$  – число оборотов в минуту;  $\theta$  – средний кинематический угол встречи;  $T$  – чистое время на резание без потерь.

Скорость резания, м/с:

$$v = \frac{\pi D n}{6000},$$

где  $D$  – диаметр окружности резания.

Задав номинальные значения  $\gamma$ ,  $L$ ,  $h$  и варьируя  $v$  в определенных пределах, получим передаточные функции силовых параметров:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)},$$

где  $Y(s)$  – преобразованный по Лапласу выходной сигнал (сила резания);

$X(s)$  – преобразованный по Лапласу входной сигнал (скорость резания).

В результате моделирования в пакете Matlab были получены передаточные функции силовых параметров на основе метода трапеций.

Силовые параметры будем оценивать по току, потребляемому электродвигателем. Исходя из этого, модель процесса резания может быть представлена в виде

$$I = k_{рез} v h,$$

где  $I$  – ток, потребляемый электродвигателем;  $v$  – скорость резания;  $h$  – глубина резания;  $k_{рез}$  – коэффициент пропорциональности.

Датчик обратной связи будет описываться уравнением

$$\frac{dU_D}{dt} = \frac{k_D}{T_D} I - \frac{1}{T_D} U_D,$$

где  $U_D$  – напряжение на выходе датчика;  $k_D$ ,  $T_D$  – коэффициент передачи и постоянная времени датчика.

Однако следует заметить, что процесс резания является стохастическим, а это обусловлено воздействием ряда возмущающих воздействий на систему станок - прибор - инструмент - деталь (СПИД). Возмущающими воздействиями могут быть: для элемента «станок» - подача, скорость, глубина резания, температура; для элемента «приспособление» - геометрическая точность, жесткость, точность установки; для элемента «инструмент» - точность, жесткость, износ, затупление; для элемента «деталь» - плотность, влажность, механические свойства.

Большинство из этих возмущений неконтролируемые и относятся либо к «внутренним» возмущениям объекта (процесса резания), либо связаны с измерительной системой.

Кроме того, некоторые параметры системы СПИД имеют скачкообразный характер изменения, что накладывает дополнительные требования при моделировании процесса резания.

Таким образом, целесообразно представить систему, адекватно описывающую процесс резания, в виде стохастических уравнений в пространстве состояний.

Для моделирования была выбрана передаточная функция для силы резания следующего вида:

$$W2(s) = \frac{16.72}{230.2s + 1}.$$

Тогда стохастическая модель системы в пространстве состояний будет имеет вид [2]:

$$\begin{aligned} X(k + 1) &= 0.9957X(k, s(k), s(k + 1)) + 0.25U(k) + FN1(k), \\ Z(k) &= CX(k) + EN2(k), \end{aligned}$$

где  $X(k)$  – n-мерный вектор в пространстве состояний;  $Z(k)$  – вектор наблюдений;  $f[k + 1, s(k + 1)]$  – вектор шумов наблюдения;  $N1(k), N2(k)$  – вектора гауссовских случайных процессов;  $F, N$  – некоторые известные функции своих аргументов;  $U(k)$  – вектор управления,  $k = 0, 1..N$  – индекс дискретизации по времени;  $s(k)$  – вектор состояний структуры, имеющий 2 состояния:  $C = 0.2892$  при  $s = 1$ ;  $C = 1.5 \cdot 0.2892$  при  $s = 2$ .

В нашем случае  $X(k)$  - сила резания;  $Y(k)$  - скорость резания.

Оценки для вектора  $X$  будем искать на основе алгоритма оптимальной фильтрации [3].

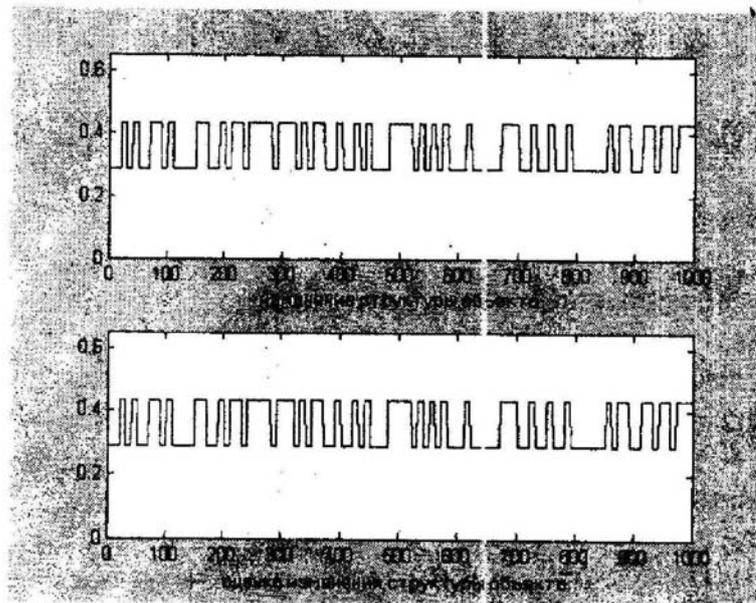


Рисунок 2 – Изменение структуры объекта и оценка изменения структуры объекта

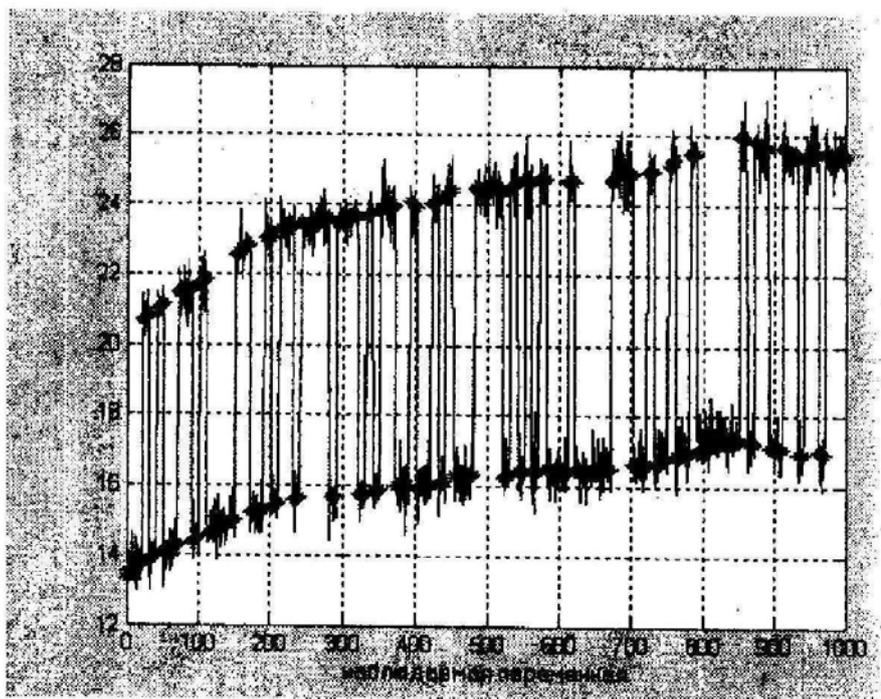


Рисунок 3 – Наблюдаемая переменная и её оценка

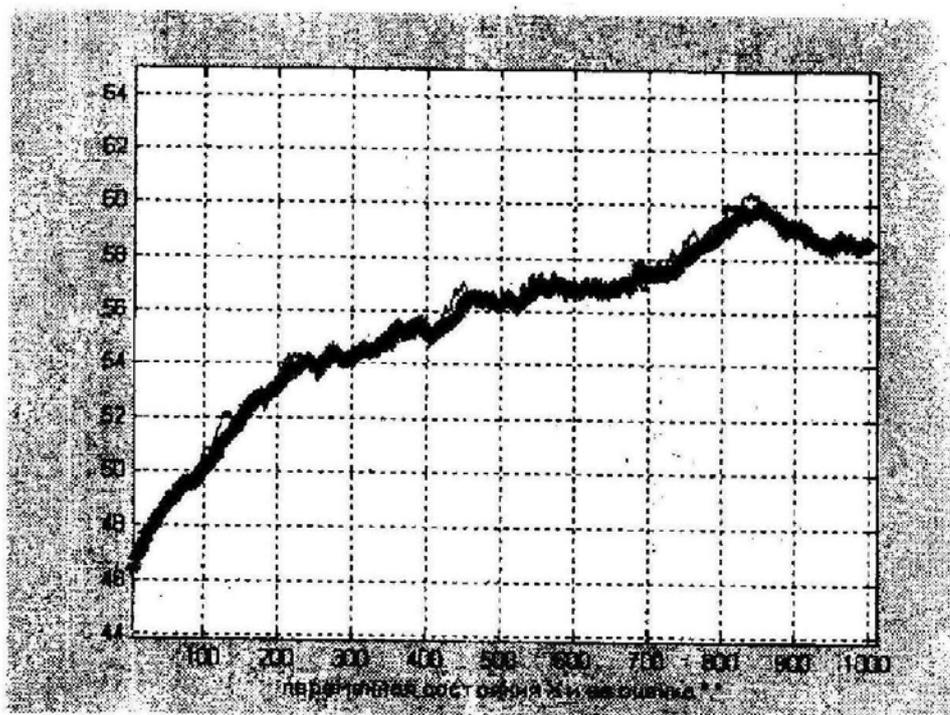


Рисунок 4 – Вектор состояния и его оценка

Таким образом, алгоритм оптимальной фильтрации позволяет эффективно оценить вектор состояния системы СПИД в условиях скачкообразного изменения ее параметров.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Бершадский А. Л. Расчет режимов резания древесины. - М.: Лесная промышленность, 1967.
2. Пугачев В. С., Сеницин И. Н. Стохастические дифференциальные системы. Анализ и фильтрация. - 2-е изд., доп. - М.: Наука, 1990.
3. Богуславский И. А. Прикладные задачи фильтрации и управления. - М.: Наука, 1983. - 400 с.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯЮЩИХ НА СИЛОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ  
НА ФРЕЗЕРНО-БРУСУЮЩИХ СТАНКАХ**

Раповец В.В., Бурносов Н. В. (БГТУ, г. Минск, РБ) [dosy@bstu.unibel.by](mailto:dosy@bstu.unibel.by)

**DEFINITION OF PARAMETERS OF CUTTING PROCESS  
ON THE MILLING-BAR MACHINE TOOLS INFLUENCING  
POWER PARAMETRS**

Совершенствование фрезерно-брусующих станков требует проведения специальных исследовательских работ, направленных на улучшение процесса переработки тонкомерных бревен с заданной производительностью и получением пилопродукции (брус и технологическая щепка) необходимого качества. При этом следует учитывать различные факторы, влияющие на процесс резания [1].

Среди этих факторов можно выделить производительность, размерно-качественные характеристики щепки и пласти бруса в зависимости от параметров режущего инструмента. Это взаимосвязанные факторы. Они определяют во многом технико-экономическую эффективность процесса переработки тонкомерных бревен [2].

Вопросы обработки древесины спиральными двухлезвеными фрезами (конструкция БТИ) недостаточно тщательно изучены как в силовом, так и в качественном отношении. Ведь для резания технологической щепки необходим один режим, а для формирования качественной пласти бруса – уже другой, несколько отличающийся от первого режима. К тому же весь этот процесс сопровождается значительными ударными нагрузками, затрудняющими измерение силовых показателей.

Рассмотрим принцип формирования щепки и пласти бруса (рис. 1).

На рис. 1 изображено перерабатываемое бревно диаметром  $D$  в трех проекциях, которое движется со скоростью подачи  $U$  (м/мин) между правой I и левой II фрезами с центром  $O$  и частотой вращения  $n$  (мин<sup>-1</sup>). Ось бревна смещена выше центра фрез на размер  $a$ . Резцами  $1, 2, \dots, i$  радиусами  $R_1, R_2, \dots, R_j$ , расположенными на одной спирали Архимеда, срезаются с каждой стороны бревна последовательно три слоя так, что получается брус высотой  $h_i$  и шириной меньшей пласти  $b_i$ . При этом резцы на правой и левой фрезе имеют прямую короткую кромку под углом  $\varphi_p$ . Угол среза торца щепки  $\varphi_{щ}$  в общем случае не равен углу скоса короткой кромки резца  $\varphi_p$ . Длинная кромка  $l_d$  формирует щепку по толщине  $S_{щ}$ , а короткая  $l_k$  по длине  $l_{щ}$ .

На горизонтальной проекции бревна показана форма поперечных сечений щепки на уров-

не АО, на фронтальной – на уровне входа резца в древесину ( $a + b_i/2$ ), и на профильной показана форма режущих кромок резцов. При срезании слой древесины разрушается на отдельные щепки неопределенной ширины, но с постоянной площадью поперечного сечения  $F$ .

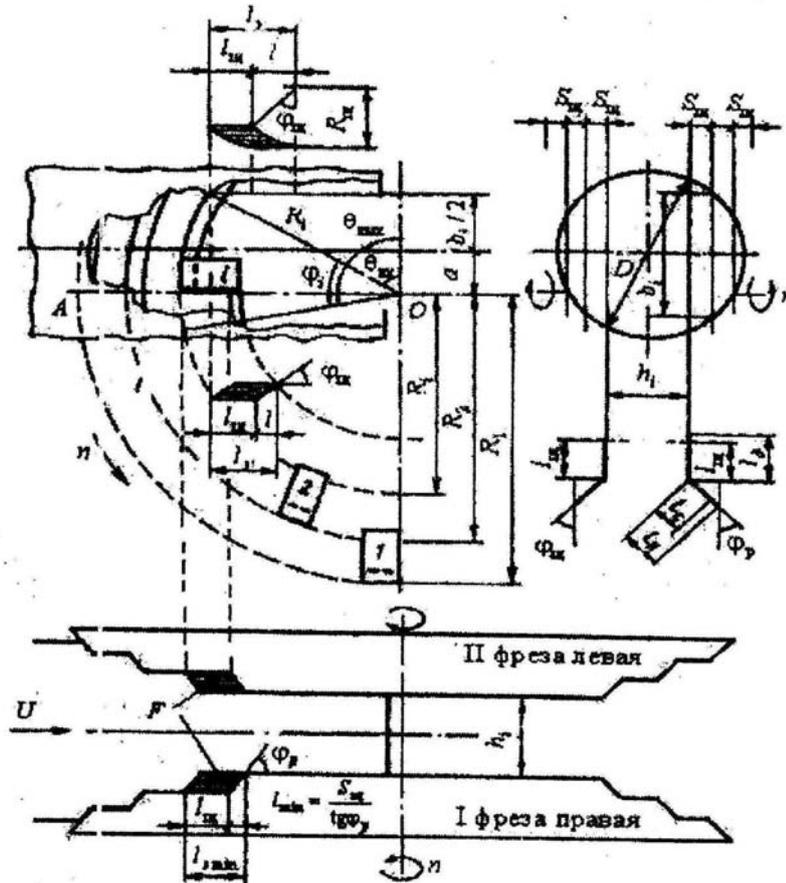


Рисунок 1 – Схема формирования элементов щепы и бруса

Определим теперь основные параметры щепы и резцов. Длина щепы по направлению волокон древесины

$$U_z = l_{щ} = \frac{1000 \cdot U}{z \cdot n},$$

где  $U$  – скорость подачи, м/мин;  
 $z$  – количество резцов, приходящихся на срезание одного слоя.

Длина длинной кромки резца

$$l_d = l_{щ} + 2 \text{ мм.}$$

Увеличение на 2 мм делается для компенсации возможной неточности расположения резцов по радиусам  $R_1, R_2, \dots, R_j$ . Длина элемента щепы  $l_3$  представляет собой длину щепы плюс длину скошенной части щепы. Рассмотрим этот случай.

$$l_3 = l_{щ} + l = l_{щ} + \sqrt{R_i^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2} - \sqrt{\left(R_i - \frac{S_{щ}}{\operatorname{tg} \varphi_p}\right)^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2}, \quad (1)$$

где  $l$  – длина скошенной части элемента щепы, мм;  
 $\varphi_p$  – угол скоса прямой короткой кромки резца, град.

Проанализируем полученную зависимость (1):

1.  $l_{3\max}$  будет при условии

$$\left(a + \frac{b_i}{2}\right) = \left(R_i - \frac{S_{uy}}{\operatorname{tg} \varphi_p}\right).$$

$$l_{\text{э max}} = l_{uy} + \sqrt{R_i^2 - \left(R_i - \frac{S_{uy}}{\operatorname{tg} \varphi_p}\right)^2}.$$

2.  $l_{\text{э min}}$  будет при условии  $\left(a + \frac{b_i}{2}\right) = 0$ ;  $l_{\text{э min}} = l_{uy} + \frac{S_{uy}}{\operatorname{tg} \varphi_p}$ .

Из (1) следует, что длина элемента щепы зависит от технологических и инструментальных факторов. Длина элемента изменяется только за счет длины скошенной части щепы. Расчет показывает, что для средних условий  $l_{\text{э max}}/l_{\text{э min}}$  достигает двух.

Длина среза торца щепы

$$l_c = \frac{S_{uy}}{\sin \varphi_{uy}}. \quad (2)$$

Длина прямой короткой кромки реза

$$l_k = l_c + 2 \text{ мм.}$$

Длина контура среза щепы включает поперечное резание длинной кромкой и торцово-поперечное – короткой кромкой:

$$L = l_{\text{щ}} + l_c. \quad (3)$$

Угол среза торца щепы

$$\operatorname{tg} \varphi_{uy} = \frac{S_{uy}}{l} = \frac{S_{uy}}{\sqrt{R_i^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2} - \sqrt{\left(R_i - \frac{S_{uy}}{\operatorname{tg} \varphi_p}\right)^2 - \left(a + \frac{b_i}{2}\right)^2}}. \quad (4)$$

Проанализируем аналитическую зависимость (4):

1.  $\operatorname{tg} \varphi_{\text{щ max}}$  будет при условии  $l_{\text{min}} = \frac{S_{uy}}{\operatorname{tg} \varphi_p}$ ;  $\operatorname{tg} \varphi_{\text{щ max}} = \operatorname{tg} \varphi_p$ ; т.е.  $\varphi_{\text{щ max}} = \varphi_p$ .

2.  $\operatorname{tg} \varphi_{\text{щ min}}$  будет при условии

$$l_{\text{max}} = \sqrt{R_i^2 - \left(R_i - \frac{S_{uy}}{\operatorname{tg} \varphi_p}\right)^2}.$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{uy} = \frac{S_{uy}}{l_{\text{max}}}.$$

Угол среза торца щепы  $\varphi_{\text{щ}}$  меньше угла скоса короткой кромки реза  $\varphi_p$ . Они равны между собой только при  $(a + b_i/2) = 0$ . Отношение  $\operatorname{tg} \varphi_{\text{щ max}}/\operatorname{tg} \varphi_{\text{щ min}}$  достигает четырёх. Известно, что качество щепы во многом определяется качеством торцового среза, а условия резания зависят от угла перерезания волокон древесины  $\varphi_{\text{щ}}$ .

Площадь поперечного сечения щепы

$$F = S_{\text{щ}} \cdot l_{\text{щ}}. \quad (5)$$

Эта площадь зависит от длины и толщины щепы и не зависит от ее конфигурации.

Объем стружки (с некоторым приближением), срезаемый  $i$ -м резцом с бревна за один рез (один оборот фрезы):

$$V = F \cdot V_i \quad (6)$$

Изменяя сечение резца за счет толщины или длины щепы, можно выяснить их раздельное влияние на силовые показатели.

При определении мощности на резание удобно пользоваться

$$P = K \cdot O = K \cdot \left( \frac{\pi D^2 \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{D^2 - h_i^2}}{h_i}}{360} - \frac{\sqrt{(D^2 - h_i^2)} \cdot h_i}{2} \right) \cdot \frac{1000 \cdot U}{60}, \quad (7)$$

где  $O$  – объём щепы ( $\text{см}^3$ ), срезаемый в секунду;

$b$  – ширина пласти, см;

$D$  – средний диаметр бревна, см;

$U$  – скорость подачи, м/мин.

Угол входа  $i$ -го резца в древесину (кромки  $l_d$  и  $l_k$  полностью вступают в работу)

$$\cos \theta_{\text{вх}} = \frac{a + b_i / 2}{R_i}. \quad (8)$$

Угол выхода  $i$ -го резца из древесины (кромка  $l_k$  заканчивает торцовый срез)

$$\theta_{\text{вых}} = 180^\circ - \left( \arccos \frac{b_i / 2 - a}{R_i} \right). \quad (9)$$

Угол контакта  $i$ -го резца с древесиной

$$\varphi_i = \theta_{\text{вых}} - \theta_{\text{вх}}. \quad (10)$$

Длина дуги контакта (резца с древесиной)

$$l_i = 0,0175 \cdot R_i \cdot \varphi_i. \quad (11)$$

Рассмотрим подробнее угловые параметры режущего элемента. У известных резцов есть один общий признак – наличие двух режущих кромок [3].

На рис. 2 показаны линейные и угловые параметры резца, короткая режущая  $ab$  и длинная  $бв$ . При этих кромках есть соответствующие углы заострения  $\beta_k$  (сечение А-А) и  $\beta_d$  (сечение Б-Б). На нашем рисунке показана громка  $бг$ , которая является линией пересечения передних граней резца  $гбв$  и  $гба$ , по которым сходит стружка – щепа. Наружная кромка  $аг$  образует с боковой кромкой резца угол  $\beta_1$ , который не участвует в резании. Между внутренней кромкой  $бг$  и наружной кромкой  $бд$  расположен угол заострения  $\beta_0$  (сечение В-В). Угол  $\beta_2$  расположен в сечении Г-Г. Задние грани резца  $абд$  и  $дбв$  скользят по обрабатываемой поверхности бревна в направлении вектора скорости резания  $V$ . Задние углы резания относительно малы ( $3-5^\circ$ ) и могут быть приняты равными нулю для упрощения аналитического определения углов. Между плоскостью В-В и задними гранями  $абд$  и  $дбв$  образуются вспомогательные углы  $x$  и  $y$ . В плоскости Б-Б расположен угол  $\varphi_1$ . Внутренняя кромка  $бг$  находится на передней грани  $гбв$  под углом  $\varphi_2$  к длинной режущей кромке  $бв$ . Конструктивные углы резца  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ , угол среза торца щепы  $\varphi$ .

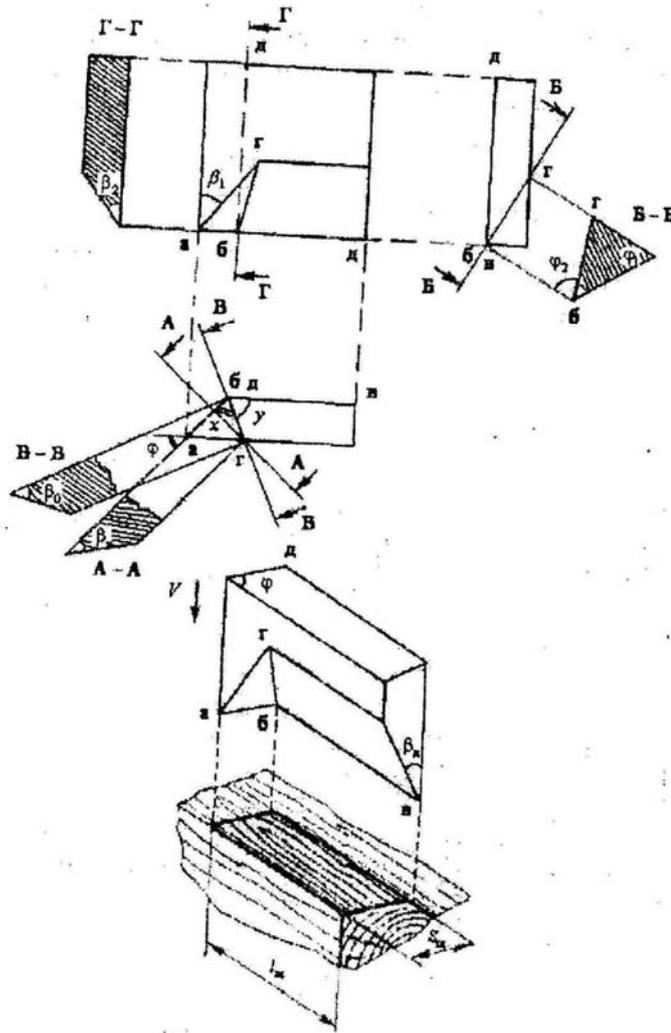


Рисунок 2 – Линейные и угловые параметры реза:

$аб$  - короткая режущая кромка;  $бв$  - длинная режущая кромка;  $\beta_k$  - угол заточки при кромке  $аб$ ;  $\beta_d$  - угол заточки при кромке  $бв$ ;  $\varphi$  - угол среза торца щепы;  
 $V$  - направление вектора скорости резания

При помощи метода проекций углов на плоскость установим теперь связи между перечисленными углами [4].

$$tg\beta_k = tg\beta_1 \cos(90 - \varphi) = \frac{tg\beta_k}{\sin \varphi} \quad (12)$$

$$tg\beta_2 = \frac{tg\beta_k}{\cos \varphi} \quad (13)$$

$$tg\beta_0 = \frac{tg\beta_k}{\sin x} \quad (14)$$

$$\text{Отсюда видно, что } \varphi + x + y = 180^\circ. \quad (15)$$

Определим вспомогательные углы из (14) и (15):

$$tgx = \frac{tg\beta_k \sin \varphi}{tg\beta_d - \cos \varphi \cdot tg\beta_k} \quad (16)$$

$$tgy = \frac{tg\beta_{д} \sin \varphi}{tg\beta_{к} - \cos \varphi \cdot tg\beta_{д}} \quad (17)$$

Аналогично определяются и конструктивные углы из (13) и (14):

$$tg\varphi_1 = \frac{tg\varphi}{\sin \beta_{д}} \quad (18)$$

$$tg\varphi_2 = \frac{\sin \varphi}{(tg\beta_{к} - tg\beta_{д} \cos \varphi) \cos \beta_{д}} \quad (19)$$

Основными углами, характеризующими резец, являются угол заточки при короткой кромке  $\beta_{к}$ , угол заточки при длинной кромке  $\beta_{д}$  и угол среза торца щепы  $\varphi$ .

Проведем анализ полученных зависимостей.

1)  $\beta_{к} = \beta_{д}$ . Это условие, когда углы заточки при короткой и длинной режущих кромках равны.

2)  $y = 90^\circ$ . Это отражает условие, которое показывает преобладание поперечного резания, и стружка свободно сходит по передней грани длинной режущей кромки.

Из уравнения (17) следует, что

$$tg\beta_{к} = \cos \varphi \cdot tg\beta_{д}, \quad (20)$$

т.е.  $\beta_{к} = \beta_{д}$ . С уменьшением угла  $\varphi$  ближе по величине становятся  $\beta_{к}$  и  $\beta_{д}$ . Подставив (20) в (19), получим

$$tg\varphi_2 = \frac{\sin \varphi}{(\cos \varphi \cdot tg\beta_{д} - tg\beta_{д} \cos \varphi) \cos \beta_{д}} \quad (21)$$

Следовательно,  $\varphi_2 = 90^\circ$ .

Из (15) получим  $x = 90 - \varphi$ , что после подстановки в (16) дает

$$tgx = \frac{tg\beta_{д} - \cos \varphi \cdot tg\beta_{к}}{tg\beta_{к} \sin \varphi} \quad (22)$$

Аналогичным образом из (14) получим

$$tg\beta_0 = \frac{tg\beta_{к}}{\cos \varphi} = tg\beta_2. \quad (23)$$

3)  $x = 90^\circ$ . Это отражает условие, когда стружка, срезанная под углом  $\varphi$  к волокнам, будет сходиться по передней грани короткой кромки.

Из (14) имеем  $\beta_0 = \beta_{к}$ ; из (16)  $tg\beta_{д} = \cos \varphi \cdot tg\beta_{к}$ , т.е.  $\beta_{к} > \beta_{д}$ .

4) При уменьшении угла скоса торца щепы  $\varphi$ , при равных прочих условиях, углы  $\beta_1\varphi_2$  увеличиваются, а углы  $\beta_2\beta_0$  уменьшаются.

**Заключение.** Анализируя полученные теоретическим путем аналитические зависимости, можно сделать соответствующие выводы. Углы заострения резца  $\beta_{к}$  и  $\beta_{д}$  нельзя изменять независимо друг от друга, т. к. они взаимозависимы. Короткая и длинная режущие кромки являются стружкообразующими. Режущие возможности резца и качество щепы будут выше при уменьшении углов заточки  $\beta_{к}$  и  $\beta_{д}$ . Ограничивающим фактором будет стойкость резца. Практически  $\beta_{д} = \beta_{к} = 40^\circ$ . Углы резания при короткой и длинной режущих кромках будут больше на 2-3 градуса за счет задних углов. При уменьшении

угла среза торца щепы до  $30^\circ$  углы  $\beta_k$  и  $\beta_d$  приблизительно равны по величине.

Как видим, полученные аналитические зависимости устанавливают связь между толщиной  $S_{щ}$ , длиной  $l_{щ}$  щепы и угловыми параметрами элементов резца. Эти основные параметры влияют на силовые показатели процесса резания, качество получаемой щепы и бруса, дают возможность связать параметры резца с параметрами технологической щепы, бревна, бруса, а также являются исходными при проектировании спиральных фрез, фрезерно-брусующих станков – основой расчета режимов резания на данном типе оборудования, подготовки и последующего проведения экспериментальных исследований.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Механическая технология древесины / Под ред. Н. А. Ватина. – Мн.: Вышэйшая школа, 1979. – Вып. 9. – 164 с.
2. Механическая технология древесины / Под ред. Н. А. Ватина. – Мн.: Вышэйшая школа, 1985. – Вып. 9. – 144 с.
3. Микулинский В. И. О проекции углов на плоскость. – В кн.: Вопросы резания, надежности и долговечности дереворежущих инструментов и машин. – Л.: ЛТА, 1983.
4. Станки и инструменты деревообрабатывающих производств: Межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1986. – 136 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСАХ

**Соколов Е.В.** (УГЛТУ, Екатеринбург, РФ) [sokolov\\_ev.art@mail.ru](mailto:sokolov_ev.art@mail.ru)  
**Анкудинов Д.Т.** (УГГТУ, Екатеринбург, РФ)

### **MODELING FLOWING FLUID IN THE CENTRIFUGAL PUMPS**

За последние годы лесопромышленный комплекс (ЛК) России существенно изменился. Круг вопросов, который активно обсуждается специалистами отрасли касается: технологий, оборудования, экологии. Основой задачей предприятий деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной и других промышленности ЛК России является увеличение выпуска высококачественной продукции. Это достигается применением новых эффективных технологий, что позволяет сертифицировать выпускаемую продукцию в соответствии с требованиями международных стандартов.

Истощение природных запасов и рост цен на энергоносители потребует создания более эффективных технологий, машин и оборудования. Поэтому проектные организации, осуществляющие разработку технологических линий, все больше уделяют внимания вопросу энергосбережения, безопасности и экологии. Эти требования предъявляют к агрегатам от непрерывной работы которых, зависит объем и качество выпускаемой продукции. К энергопотребляющему оборудованию относятся насосные системы, использующие электрическую энергию для создания потока жидкой среды. Насосы применяют там, где требуется подавать вещество в жидком состоянии: клеи, растворы,

водраскнистую суспензию, а также техническую воду. В основном для этих целей используют динамические насосы, большую часть которых составляют центробежные.

В работе проводится моделирование течения в центробежном насосе. Исследование гидродинамики позволяет, обосновано принимать конструктивные решения при модернизации насосного агрегата.

Система перекачки жидкой среды с насосом включающая в себя, напорный и всасывающий трубопроводы, гидроарматуру, контрольно-измерительные приборы называют гидравлической сетью. Проектировочный расчет сети включает в себя: подбор насоса; выбор диаметров и длин трубопроводов; запорной арматуры; контрольно-измерительных приборов. Наиболее сложным является выбор насоса для гидросистемы, так как требуется найти подачу, которая будет обеспечиваться системой при работе насоса в оптимальном режиме, то есть с максимальным КПД (рис.1).

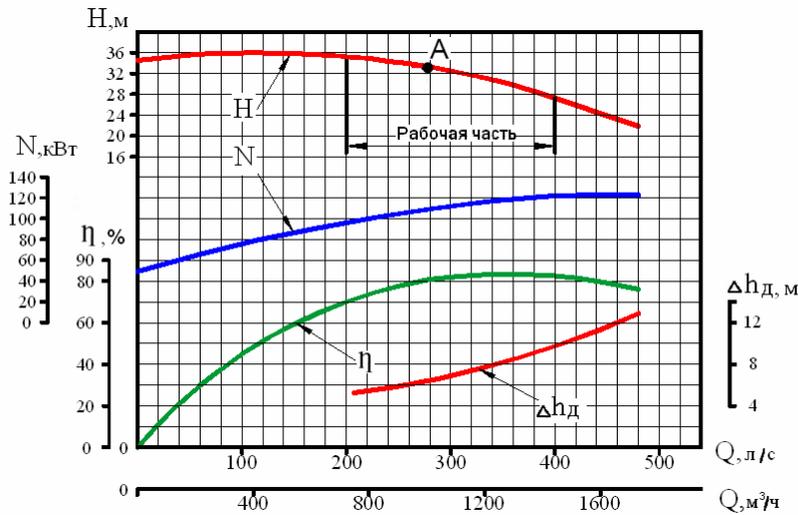


Рисунок 1 – Характеристика насоса ХРО1000/34-К-СД:

H-напорная;  $\eta$ , N-энергетическая;  $\Delta h_d$  -кавитационная;

A-точка оптимального режима работы;  $Q=1000\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $H=34\text{м}$ ;  $h_{\text{доп}}=6,5\text{м}$ ;  
 $N=125\text{кВт}$ ; КПД-80%; частота вращения 960 об/мин

В качестве объекта исследования был выбран центробежный насос типа ХРО 1000/34, (рис.2) выпускаемый ОАО «УЭТМ - Уралгидромаш» (Свердловская обл. г. Сысерть). Насосы этого типа предназначены для подачи волокнистых полуфабрикатов, технической воды и других веществ с плотностью и концентрацией, не превышающей паспортных данных.

Усовершенствование центробежных насосов идет по следующим направлениям [1]:

- улучшение показателей эффективности: уменьшение кавитационного запаса  $\Delta h$ , повышение КПД  $\eta$ ;
- снижение материалоемкости, уменьшение габаритных размеров, с увеличением энергоемкости агрегата;
- повышение надежности, безопасности и требований экологии;

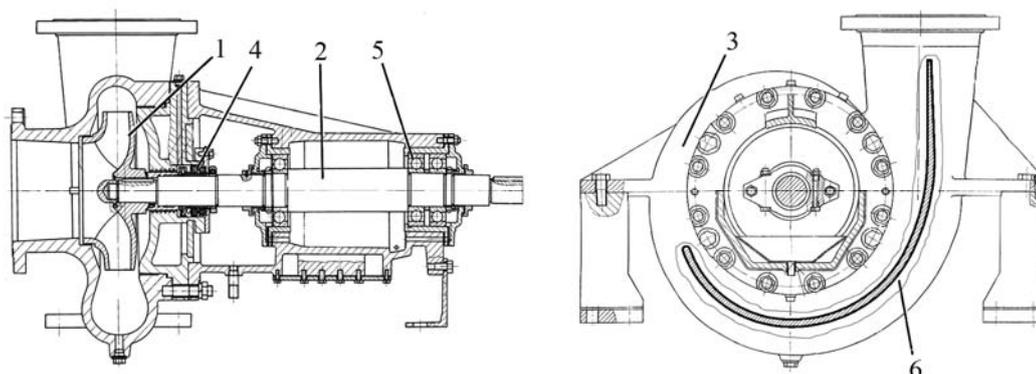


Рис. 2. Центробежный насос ХРО1000/34-К-СД:  
1-рабочее колесо; 2-вал; 3-спиральный отвод; 4-уплотнение; 5-подшипники;  
6-разделка спирального отвода («выгородка»)

Отметим, что энергопотребление и экологическая безопасность являются показателями качества насосного агрегата сформулированные Европейской ассоциацией производителей насосов (Euro pump) в программе Ecorump [2,3]. Поэтому совершенствование конструкции насосного агрегата является актуальной задачей, решение которой невозможно без детального знания картины пространственных течений.

Центробежный химический насос ХРО 1000/34 (рис.2) одноступенчатый, консольный. Рабочее колесо (РК) закрытого типа, одностороннего входа без разгрузочного устройства. РК имеет шесть лопастей загнутых назад, спиральный отвод с разделителем («выгородкой»). Частота вращения РК составляет 960 об/мин. Рабочей средой является жидкость. Лопастной системой насоса является совокупность проточных частей РК и спирального отвода.

Моделирование течение жидкости в лопастной системе основано на численном решении дифференциальных уравнений Навье-Стокса [4]. Для решения используется метод конечных элементов. Этот метод реализован в программах вычислительной гидродинамики (CFD) ANSYS CFX, FLUENT др. В первом приближении для получения картины течений была решена плоская задача.

*Описание модели.* Модель лопастной системы была построена в программе Unigraphics. Импортировалась в программу ANSYS, где дорабатывалась и строилась с помощью регулярной прямоугольной сетки (рис.3).

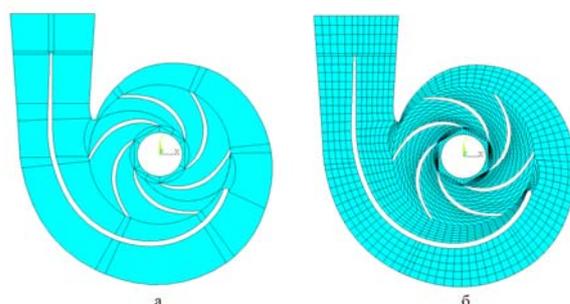


Рис. 3. Импортированная (а) и конечно-элементная (б) модели

*Топология расчетной сетки.* При построении расчётной сетки были выполнены следующие условия:

автоматическое разбиение средствами программы ANSYS; тип конечного элемента (КЭ) - PLANE 182; общее количество – 1885 конечных элементов; сгущение сетки вдоль границ лопаток и корпуса не проводилось.

*Физическая модель.* Расчет течений проводился в CFD пакете FLUENT (рис.4). РК насоса совершает вращение с постоянной угловой скоростью 103 рад/с на входе в насос задавалось значение абсолютной скорости потока 3,87 м/с, что соответствует оптимальному режиму работы  $Q_{\text{опт}}$  (т. А рис. 1).

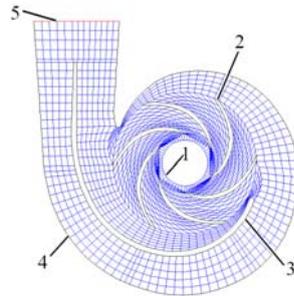


Рис. 4. Граничные условия в модели:  
1-вход (inlet); 2-лопасти (blade); 3-разделитель (split);  
4-корпус (case); 5-выход (outlet)

Температура жидкой среды на входе  $16^{\circ}\text{C}$  (286К), свойства жидкой среды соответствуют воде с плотностью  $998 \text{ кг/м}^3$  [5]. Гидравлический диаметр на входе и выходе принимался  $D_f=0,608\text{м}$ . Рабочая среда полагалась несжимаемой, режим течения турбулентный. В расчете принималась стандартная k-epsilon ( $\kappa - \varepsilon$ ) модель турбулентности. Для получения решения задавалось 100 итераций, сходимость получена на 78-ой итерации. Время расчета составило около 1,5мин. Результатом расчета является спектр полных давлений на оптимальном режиме работы насоса (рис. 5).

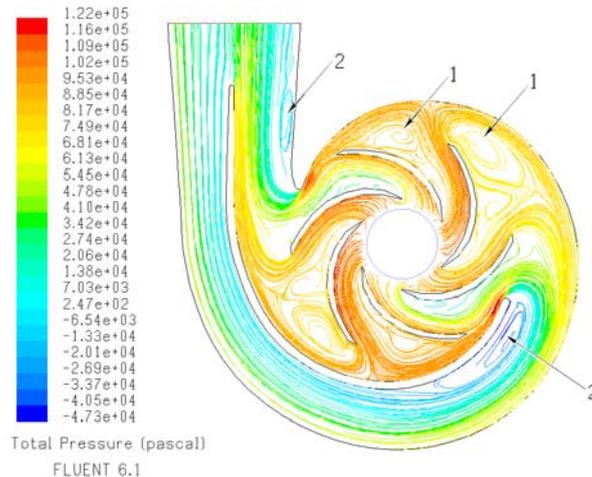


Рис.5. Спектр полных давлений (Па) на оптимальном режиме работы:  
1-вихревое движение, 2-обратные течения (токи)

Результаты численного моделирования имеют хорошую сходимость с экспериментальными данными. Более точные результаты могут быть получены при построении пространственной модели лопастной системы.

## Выводы.

Результаты моделирования могут использоваться для оценки гидродинамических характеристик лопастной системы центробежного насоса.

Выявлены зоны обратных течений, это свидетельствует о несовершенстве геометрии проточной части спирального отвода. Нарушение равномерности поля скорости оказывает существенное влияние на величину гидродинамических потерь.

На основании полученной картины плоских течений можно усовершенствовать проточную часть лопастной системы с целью снижения потерь.

Центробежные насосы с улучшенными показателями эффективности, работающие в составе непрерывных производственных процессов предприятий деревообрабатывающей промышленности [6] позволят снизить энергопотребление, что уменьшит себестоимость выпускаемой продукции.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виноградская. Т.И., Лесников. О.М. Оценка технического уровня и качества насосного оборудования. Совершенствование насосного оборудования. Труды ВНИИ-гидромаша. 1982. – С. 143-150.
2. Караханьян. В. РАПН сегодня // «Насосы&оборудование». - 2005. №2-3. – С. 6-8.
3. Караханьян. В. Есориптр – программа Eucoriptr по снижению энергопотребления и защите окружающей среды // «Насосы&оборудование».- 2005. №5. – С. 5-6.
4. Андерсон Д., Таннехил Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидродинамика и теплообмен. В 2-х т. Т. 1: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 384 с.
5. Справочник по расчетам гидравлических и вентиляционных систем. Под ред. Юрьева А.С. С.-Пб, АНО. НПО “Мир и семья” 2001. – 1154 с.
6. Варфоломеев Ю.А., Агапов Д.В. Федотов В.И., и др., Новый отечественный завод для автоклавной пропитки древесины // «Деревообрабатывающая промышленность». – 2001. №2. – С. 7-9.

## ОСОБЕННОСТИ ОЦИЛИНДРОВКИ БРЁВЕН ТОЧЕНИЕМ

*Сергеевичев А.В. (СПбГЛТА, Санкт-Петербург, РФ)*

### **FEATURES OF CYLINDRICAL TURNING OF LOGS**

Точение - процесс обработки древесины резанием, при котором из заготовки получается тело вращения по заранее заданному профилю [1]. При точении срезается винтовая или спиральная непрерывная стружка.

В настоящее время, в основном, применяют следующие приемы точения:

1. Осевое точение, при котором вершина режущего лезвия резца находится на уровне зажимов, а резец во время точения перемещается вдоль оси вращения детали.

Принципиальная схема осевого точения древесины с указанием основных геометрических параметров и описанная в работе [2] представлена на рис. 1.

2. Тангенциальное точение с продольной подачей резца, когда часть режущего лезвия, формирующая поверхность обработки, перемещается параллельно оси вращения детали в плоскости, касательной к контуру окружности детали; с поперечной подачей, при которой режущее лезвие расположено параллельно или под углом к оси вращения детали и перемещается в направлении, перпендикулярном оси вращения детали в плоскости, касательной к контуру окружности детали.

3. Радиальное точение, при котором режущее лезвие резца находится на уровне оси зажимов, и резец перемещается по радиальному направлению.

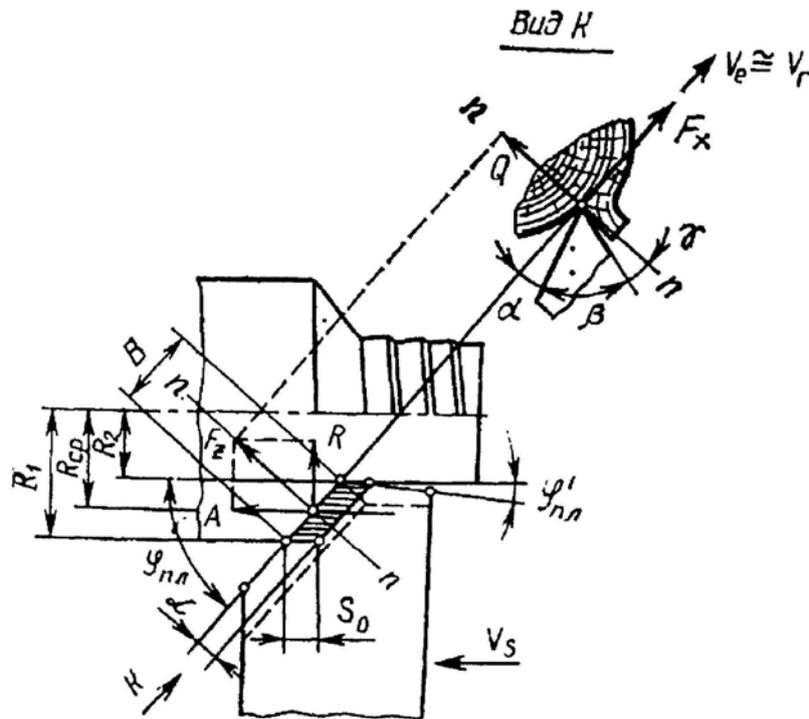


Рис. 1. Принципиальная схема осевого точения древесины

В процессе точения древесины обрабатываемое изделие и режущий инструмент перемещаются друг относительно друга, причем резец срезает часть древесины (стружку) определенного размера и формы.

Для того чтобы удалить с поверхности изделия слой древесины, необходимы одновременно два движения: вращение изделия вокруг своей оси и непрерывное поступательное движение резца - вдоль оси изделия в случае продольного точения и перпендикулярно оси в случае радиального и тангенциального точения с поперечной подачей.

При точении на обрабатываемой заготовке имеются поверхности: обрабатываемая поверхность, поверхность резания и обработанная поверхность. Поверхность, с которой снимается слой древесины (припуск), называется обрабатываемой. Поверхность, полученная после снятия припуска, называется обработанной. Поверхность, образуемая непосредственно режущим лезвием резца на обрабатываемой заготовке, называется поверхностью резания. Часть поверхности резания, примыкающая к обработанной поверхности, остается на обрабатываемой детали в виде гребешков (резьбы) и является частью обработанной поверхности. Другая же, большая часть поверхности резания срезается за последующий оборот резания вместе со стружкой. Таким образом, поверхность резания при точении древесины является промежуточной поверхностью, и шеро-

ховатость ее еще не характеризует, в какой бы то ни было степени, качество обработанной детали.

Геометрически, толщина стружки при точении равна линейному расстоянию между последовательными положениями следов пересечения винтовой поверхности резания плоскостью, проходящей через ось вращения обрабатываемой поверхности.

## **Выводы.**

1. Анализ существующего оборудования для оцилиндровки бревен показывает, что, несмотря на разнообразие типов станков, эффективность оцилиндровки не соответствует современным требованиям и зависит от многих факторов. Необходимо дальнейшее совершенствование оцилиндровки бревен, конструкций и параметров режущего инструмента.

2. Исследования кинематики движения бревен и режущего инструмента, а также используемых типов резания показывает, что с точки зрения уровня энергозатрат при оцилиндровке предпочтительнее использовать точение.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Пижурин А.А. Основы процесса точения древесины. М.: ГБЛИ, 1963. – 117 с.
2. Пигильдин Н.Ф. Окорка лесоматериалов. М.: Лесн. пром-ть, 1982. – 192 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ХРУПКОЙ ПРОЧНОСТИ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ РЕЗЦОВ НОЖЕВОЙ ГОЛОВКИ РОТОРНОГО ОЦИЛИНДРОВОЧ- НОГО СТАНКА ПОЗИЦИОННОГО ТИПА**

*Сергеевичев А.В. (СПбГЛТА, Санкт-Петербург, РФ)*

## **RESEARCH OF CUTTING PART FRAGILE DURABILITY OF CUT- TERS KNIFE BLOCK OF AN ITEM TYPE ROTARY CYLINDRICAL MACHINE TOOL**

Одной из главных характеристик конструкционной прочности резцов ножевой головки является прочность их режущей кромки. Так, как наибольшие силы резания возникают на черновых резцах, вследствие их специфики обработки, поэтому данные исследования проводились только для черновых резцов. Остальные резцы работают в более благоприятных условиях, и проводить данные исследования нецелесообразно. Основная особенность работы черновых резцов заключается в следующем:

- наибольшая глубина резания;
- максимальная толщина стружки;
- наличие минеральных включений в коре;
- наличие сучков и участков более высокой плотности.

На основании анализа работы ножевых головок оцилиндровочных станков было установлено, что скалывание режущей части резцов происходит вследствие разрушения под действием пиковых нагрузок.

Пиковые нагрузки возникают вследствие встречи резцов с сучками, участками древесины большей плотности и с минеральными включениями в коре бревна и могут многократно превышать номинальные. Выкрашивание режущей кромки резцов обычно происходит в виде отделения объема материала, превышающего объем контактной зоны [1,2]. Объем контактной зоны ограничен поверхностями силового контакта режущего элемента со стружкой и заготовкой (бревном), а опасные точки располагаются за пределами контактной зоны режущей части резца. Установлено, что опасные точки возникают на передней грани резца на расстоянии  $r$  от режущей кромки, мм [3].

$$r = k_0 \cdot c, \quad (1)$$

где  $k_0$  – некоторый коэффициент ( $k_0 > 1$ );

$c$  – ширина контакта стружки с передней гранью, измеряемая в направлении, перпендикулярном режущей кромки, мм.

В нагруженном клине при расчете напряжений различают контактную зону и область за ее пределами. В контактной зоне в соответствии с принципом Сен-Венана необходимо учитывать детальный характер внешнего нагружения резца, основываясь на действии контактных нормальных и касательных напряжений. За пределами контактной зоны расчет напряжений можно производить по сосредоточенной равнодействующей силе [4], рис. 1.

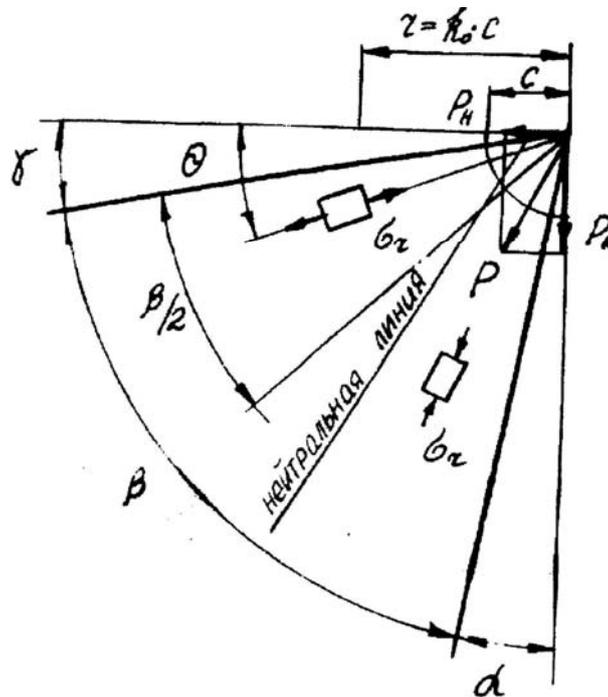


Рис. 1. Схема расчета хрупкой прочности режущей кромки черногого резца оцилиндровочного станка

Для расчета напряжений за пределами контактной зоны существует метод [5], являющийся видоизмененным методом расчета напряжений в клине при действии сосредоточенных сил, приложенных к вершине.

Напряжения за пределами контактной зоны определяются по формулам:

$$\sigma_r = \frac{2P}{r \cdot b} \left[ \frac{\cos \left[ v_0 - \left( \frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right] \cos \left[ \theta - \left( \frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta + \sin \beta} + \frac{\sin \left[ v_0 - \left( \frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right] \sin \left[ \theta - \left( \frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta - \sin \beta} \right]; (2)$$

В нашем случае  $b = t$  – глубина резания, мм.

$$\sigma_r = \frac{2P}{r \cdot t} \left[ \frac{\cos \left[ v_0 - \left( \frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right] \cos \left[ \theta - \left( \frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta + \sin \beta} + \frac{\sin \left[ v_0 - \left( \frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right] \sin \left[ \theta - \left( \frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta - \sin \beta} \right]; (3)$$

$$\sigma_r = 0; (4)$$

$$\tau_{r\theta} = 0, (5)$$

где  $P$  – равнодействующая сосредоточенная сила (реакция силы резания), Н;  
 $v_0$  – угол, определяющий направление силы  $P$ , рад;

$$v_0 = \arctg \frac{P_k}{P_n}; (6)$$

$\gamma$  – передний угол, рад;

$\beta$  – угол заострения, рад;

$\alpha$  – задний угол, рад;

$P_k$  – касательная составляющая реакции силы резания, Н;

$P_n$  – нормальная составляющая реакции силы резания, Н;

$t$  – глубина резания, мм;

$c$  – ширина контакта стружки с передней гранью режущего элемента, измеряемая в направлении, перпендикулярном кромке резца, мм;

$\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_{r, \theta}$  – соответственно радиальное, тангентальное и касательное напряжения, МПа;

$r, \theta$  – полярные координаты.

Так, как опасные точки расположены на передней грани резца, можно принять, что  $\theta = \gamma$  в зависимости от влияния  $v_0$  имеет место два случая напряженного состояния  $\sigma_b > 0$  и  $\sigma_r < 0$ . Как показывают расчеты, при  $\sigma_r > 0, \sigma_1 = \sigma_2, \sigma_3 = 0$ , а при  $\sigma_r < 0, \sigma_1 = 0, \sigma_3 = -\sigma_r$ . Где  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$  – главные напряжения. В обоих случаях  $\sigma_2 = 0$ .

С учетом этого, уравнение для определения главных напряжений имеет вид [3]

$$\sigma_{1,3} = \frac{2P}{r \cdot k_0 \cdot c} \left[ \frac{\sin \frac{\beta}{2} \sin \left[ v_0 - \left( \frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta - \sin \beta} - \frac{\cos \frac{\beta}{2} \cos \left[ v_0 - \left( \frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta + \sin \beta} \right]. (7)$$

Согласно теории предельного состояния Мора

$$\sigma_{экв} = \sigma_1 - \frac{\sigma_\epsilon}{\sigma_{-\epsilon}} \sigma_3, (8)$$

где  $\sigma_B$  – предел прочности при одноосном растяжении, МПа;  
 $\sigma_{-B}$  – предел прочности при одноосном сжатии, МПа.  
 В случае, когда  $\sigma_1 > 0, \sigma_2 = \sigma_3 = 0$  имеем:

$$\sigma_{\text{экв. max}} = \sigma_{1\text{max}} . \quad (9)$$

Выражение для оценки хрупкой прочности режущей кромки резца можно представить в следующем виде

$$\sigma_{1\text{max}} \leq [\sigma] = \frac{\sigma_B}{n_B} , \quad (10)$$

где  $n_B$  – коэффициент запаса хрупкой прочности.

Согласно рекомендациям он составляет:  $n_B = 1,2 - 1,5$ , для сравнительно недорогих инструментов, и  $n_B = 2 - 3$  для дорогостоящих инструментов (Рекомендации института сверхтвердых материалов, ИСМ, г. Киев).

В сравнении с обработкой металлов, обработка древесины и древесных материалов имеет свои особенности и отличия. Металлы считают изотропными материалами, где силы резания зависят от их постоянных физико-механических характеристик. Древесина - анизотропный материал, при обработке которого резанием, существенное влияние на силовые показатели и энергоёмкость оказывают различные факторы. Это порода древесины, влажность, наличие труднообрабатываемых зон (сучков, свилеватости, минеральных включений и т.д.). Поэтому, при оценке хрупкой прочности резца необходимо учитывать все эти факторы, которые существенно влияют на динамику резания, а значит и на хрупкую прочность режущих элементов. Таких факторов много, но главное влияние оказывают следующие факторы, оценивающиеся коэффициентом  $m$ .

$$m = \frac{P_n}{P_k} = m_T m_n m_w m_p m_\gamma m_v , \quad (11)$$

где  $m_T$  – табличное значение коэффициента;  
 $m_n$  – коэффициент, учитывающий влияние породы древесины;  
 $m_w$  – коэффициент, учитывающий влияние влажности древесины;  
 $m_p$  – коэффициент, учитывающий влияние износа резца;  
 $m_\gamma$  – коэффициент, учитывающий влияние плотности древесины;  
 $m_v$  – коэффициент, учитывающий влияние скорости резания;  
 $P_n$  – нормальная составляющая силы резания, Н;  
 $P_k$  – касательная составляющая силы резания, Н.  
 Коэффициент  $m$  связан с параметром  $\gamma_0$  следующим выражением:

$$\gamma_0 = \arcsin \frac{P_n}{P_k} = \text{arctgm} . \quad (12)$$

Толщину стружки ( $e$ ) с достаточной точностью можно принять:

$$e \approx c \approx u_0 \approx u_z , \quad (13)$$

где  $u_z$  – подача на резец, мм;  
 $u_0$  – подача на оборот, мм;  
 $c$  – ширина контакта стружки с передней гранью резца, мм.  
 Или имеем:

$$k_0 = \frac{r}{u_0}. \quad (14)$$

где  $r$  – расстояние до опасных точек на передней грани режущей части резца, мм;  
 $u_0$  – подача на оборот, мм.

Подставляя данные значения в уравнение (7), получим выражение для оценки хрупкой прочности режущей части чернового резца.

$$\sigma_{\text{экс}} = \frac{2P}{t \cdot r} \left[ \frac{\sin \frac{\beta}{2} \sin \left[ \text{arcctgm} - \left( \frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta - \sin \beta} - \frac{\cos \frac{\beta}{2} \cos \left[ \text{arcctgm} - \left( \frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta + \sin \beta} \right] \leq [\sigma]. \quad (15)$$

Единичная сила резания равна, Н/мм:

$$K = \frac{P}{t}. \quad (16)$$

где  $P$  – пиковая нагрузка, Н;  
 $t$  – глубина резания, мм.

$$r = k_0 \cdot u_0. \quad (17)$$

Обозначив выражение:

$$\left[ \frac{\sin \frac{\beta}{2} \sin \left[ \text{arcctgm} - \left( \frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta - \sin \beta} - \frac{\cos \frac{\beta}{2} \cos \left[ \text{arcctgm} - \left( \frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta + \sin \beta} \right] \text{ через } F,$$

имеем:

$$\sigma_{\text{экс}} = \frac{2 \cdot K \cdot F}{k_0 \cdot u_0} \leq [\sigma]. \quad (18)$$

или

$$K = \frac{k_0 \cdot u_0 \cdot [\sigma]}{2 \cdot F}. \quad (19)$$

или

$$[K] = \frac{k_0 \cdot u_0 \cdot \sigma_{\text{в}}}{2 \cdot F \cdot n_{\text{в}}}. \quad (20)$$

где  $\sigma_{\text{в}}$  – предел прочности материала резца на растяжение, МПа ( $\sigma_{\text{в}} = 1080$  МПа - быстрорежущая сталь P18);

$n_{\text{в}}$  – коэффициент запаса хрупкой прочности ( $n = 2$ ) в соответствии с рекомендациями [3];

$[K]$  – максимальная (единичная) сила резания по условиям хрупкой прочности режущей части резца (допускаемая), Н/мм.

На рис. 2. представлены теоретические зависимости максимальной (единичной) силы  $[K]$  от величины подачи на оборот чернового резца по условиям прочности его режущей части.

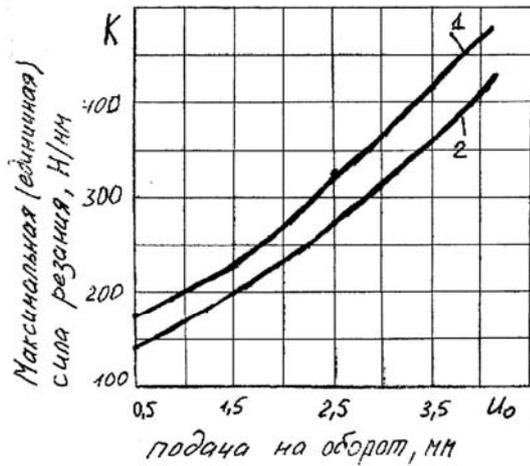


Рис. 2. Теоретические зависимости максимальной (единичной) силы резания [К] от величины подачи на один оборот чернового резца  $U_z$  по условиям хрупкой прочности его режущей части: 1 – сосна; 2 – ель

### Выводы.

1. На качество обработки бревен и производительность оцилиндровочных станков значительное влияние оказывают макронеровности и кривизна бревна.
2. При оцилиндровке бревен точением величина удельного сопротивления резанию и качество обработки зависят от вида резания и угла перерезания волокон.
3. Существенное влияние на силовые и энергетические показатели резания оказывает параметр, определяющий тангентальное смещение режущей кромки резца относительно центральных осей режущей головки.
4. Хрупкое разрушение режущей части черновых резцов происходит вследствие действия пиковых нагрузок, возникающих в зонах повышенной плотности (сучки, свилеватость, минеральные включения и т.д.).
5. Хрупкая прочность режущей кромки черновых резцов зависит от угловых параметров, характера и направления нагрузки, подачи на резец и прочностных характеристик инструментального и обрабатываемого материалов.
6. Подтверждено, что опасные точки возникают на передней грани резцов в зоне максимума растягивающих напряжений, на расстоянии от режущей кромки, превышающей величину подачи на резец (разрушение происходит за пределами контактной зоны).

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бетанели А.И. Хрупкая прочность режущей части инструмента и области контакта со стружкой при действии распределенной силовой нагрузки. // Труды ГПИ. Тбилиси. Вып. 5. 1965. С. 34 - 46.
2. Дунаев В.Д. Излом резца при статическом изгибе // Научн. труды ЦНИИ-МОД. Архангельск. Вып. 24. 1969. С. 103 - 108.
3. Бетанели А.И. Хрупкая прочность режущей части инструмента. // ГПИ. Тбилиси. 1969. 320 с.
4. Лоладзе Т.Н., Бетанели А.И. Исследование распределения напряжений в режущей части инструмента. // ГПИ. Тбилиси. 1967. Вып. 1. С. 54 -56.
5. Бетанели А.И. К обобщению метода расчета прочности режущей части инструмента // Вестник машиностроения. Тбилиси. 1965. Вып. 2. С. 14-19.

*Проблемы безопасности и экологии в деревообработке*

**ШУМ В ЛЕСОПИЛЬНО-ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ  
ПРОИЗВОДСТВАХ В РОССИИ: ОТ ТЕОРИИ И ЭКСПЕРИМЕН-  
ТОВ – К НУЖДАМ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Черемных Н.Н.** (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

***NOISE IN SAWING-WOODWORKING ENTERPRISES OF RUSSIA:  
FROM THEORY AND EXPERIMENTS – TO REAL NEED OF  
INDUSTRY***

За последние десятилетия проблема борьбы с шумом в развитых странах мира, в т.ч. в нашей стране, превратилась в одну из ведущих. Отрицательное действие шума на производительность труда и здоровье человека общеизвестно.

Влияние шума на организм работающего не ограничивается воздействием только на орган слуха. Сангигиенистами установлено, что в ряде шумных отраслей общая заболеваемость повышается на (10...15) %.

Доказано, что дано уровни в (40...70) дБА воздействуют на вегетативную нервную систему, независимо от субъективного восприятия шума человека. Привыкания человека к шуму обманчиво, т.к. шум воздействует даже на спящего человека.

Действие шума зачастую сочетается с воздействием других вредных для здоровья человека факторов: вибраций, излучений, запылённости, загазованности и т.д. Это также обостряет требования к ограничению шумовых воздействий и способствует преждевременному пенсионному обеспечению.

Следует подчеркнуть, что наше государство первым в мире законодательно начало наступление на шум (Постановления Совета Министров СССР 1960, 1969, 1973, гг.)

В 1971 г. были разработаны «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий» СН 245.-71 и «Гигиенические нормы допустимых уровней звукового давления и уровней звука на рабочих местах» ГН 1004-73. Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов при Совмине СССР был утверждён ряд ГОСТов по шуму, входящих в «Систему стандартов безопасности труда.» В настоящее время действуют санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96, где норма по шуму для рабочих мест составляет по уровню звука 80 дБА.

Ужесточение требований по шуму с 90 дБА (по СН 245-71) до 80дБА подталкивало нас двигаться в решении проблемы в 3<sup>х</sup> направлениях.

1. Исследование шума, причин и закономерностей шумообразования действующего технологического оборудования в составе технологических, линий и участков. Лесопильно-деревообрабатывающее оборудование, как известно, характеризуется высокой производительностью, при которой приходится назначать рабочие скорости от 40 до 100 (и даже выше) м/с при скоростях подачи до 150 м/мин.

Заметим, что количество рабочих инструментов (пил, шпинделей) для обеспечения производительности достигает величины (4-10) и более в одной машине. На момент начала наших работ (стык 60-70 годов прошлого века) в действующем оборудовании и технологических планировках не было малейшего намёка на какие-либо шумопонижающие решения в конструкции, в производственном помещении, заводских и селитебных (прилегающих к предприятию) территориях. Нами были разработаны, опробованы на действующем технологическом оборудовании, при минимальном вмешательстве в конструкцию, устройства с учётом довольно – таки многообразных методов борьбы с шумом: уменьшения шума в местах генерации, методов звукоизоляции, звукопоглощения, экранирования, локализации шума. Был получен заметный (5..10) дБА эффект. В ряде случаев удалось вмешаться и в общепринятую технологию, когда размещение оборудования, технологию, требований технологии. Рабочие чертежи устройств по просьбе многочисленных предприятий (не только лесопильно-деревообрабатывающих производств) были разосланы нами.

Основное требование, которое исключало бы отторжение работающими шумозащитных или шумопонижающих устройств в работе нами было выдержано в направлении неснижения технологических возможностей машины, агрегата.

2. Результаты теоретических и экспериментальных исследований послужили основанием для разработки комплекса руководящих технических материалов для производственников, проектировщиков, а также конструкторов и производителей оборудования (методики, руководства, инструкции, альбомы рабочих чертежей). Все они прошли этап согласования с Государственными проектными институтами отрасли, с проектно-технологическими бюро, Головным конструкторским бюро по проектированию деревообрабатывающего оборудования, н/и институтами отрасли и производителей оборудования, ЦК профсоюза отрасли перед утверждением в Минлеспроме СССР. Чтобы проектировщики «не пугались» (а им это было в новинку) акустических расчётов, нами была проведена недельная учёба. Последующие годы общения с проектировщиками показали, что необходимые теоретические сведения по шуму, методики расчёта и проектирования для всех возможных технологических ситуаций, типов производственных помещений, парка оборудования, иллюстрированные многочисленными числовыми примерами, позволяют им без особого труда вести акустические расчёты.

С появлением ЭВМ нами были созданы алгоритмы расчёта и программы, вошедшие в 2 инструкции по пользованию автоматизированными системами акустических расчётов.

3. Работа с Минстанкопромом, его заводами и конструкторскими бюро способствовало переносу положительных результатов по модернизации действующего оборудования на серийно выпускаемое.

Заметим, что многие технологические решения нами были выполнены с учётом мировой патентной новизны. Это, естественно, способствовало более активному продвижению научных идей в производство.

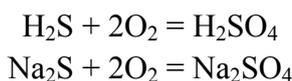
## НОВЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ТОКСИЧНЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Резинских З.Г., Горбатенко Ю.А., Первова И.Г., Липунов И.Н.  
(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [biosphera@usfeu.ru](mailto:biosphera@usfeu.ru), [family@k66.ru](mailto:family@k66.ru)

### NEW CATALYSTS FOR TREATMENT OF TOXIC WASTE WATER

Переработка сернисто-щелочных сточных вод, содержащих токсичные сульфидные соединения, является одной из актуальных проблем деревообрабатывающих и целлюлозно-бумажных производств. Используемые для данных стоков на многих предприятиях методы очистки, такие как отпарка, дегазация, карбонизация [1], требуют больших энергетических затрат и являются неэкологичными вследствие вторичного загрязнения воздуха сероводородом и сернистым ангидридом.

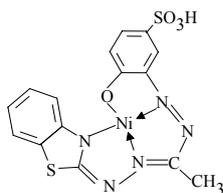
Наиболее перспективным считается метод каталитического окисления кислородом воздуха токсичных сульфидов до нетоксичных сернистых соединений – сульфатов по реакции:



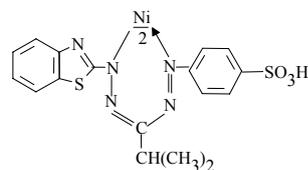
В качестве катализаторов в последнее время всё большее распространение находят системы, в которых сформированный каталитический комплекс посредством физических сил или химических связей прикреплен к твердой подложке полимерного носителя. Данные системы занимают особое место в современной каталитической химии, поскольку позволяют сочетать в себе некоторые особенности гомогенных катализаторов с технологическими преимуществами гетерогенных. Применение подобных катализаторов позволяет избежать таких технических трудностей, как возможность коррозии оборудования, опасность загрязнения окружающей среды продуктами нейтрализации катализатора [2, 3]. В качестве носителей комплексов все чаще используют полимерные материалы – иониты различного типа.

Известно [4], что активность и стабильность работы ионитных катализаторов зависит от многих факторов, в частности от структурных характеристик носителя, которые можно улучшить посредством модификации ионита. Наиболее удобным способом модификации ионитов является закрепление новых каталитических систем на поверхности гранул ионита [3].

С этой целью на основе 1-(2-гидрокси-5-сульфофенил)-3-метил-5-(бензтиазол-2-ил)формаза и 1-(4-сульфофенил)-3-метил-5-(бензтиазол-2-ил)формаза были получены мономерные металлокомплексы **I** и **II**, соответственно, следующего строения:



**I**



**II**

Высокая гибкость формазановой молекулы и неограниченная возможность варьирования тонкой структуры, за счет управления природой донорных атомов и заместителями в формазановой молекуле позволяет вести целенаправленный синтез металлорганических соединений различной природы и структуры, отличающиеся локальным окружением и конфигурацией металлхелатного узла, что непосредственно отражается на их свойствах, в том числе и на каталитических.

Синтезированные формазанаты никеля охарактеризованы методами элементного анализа и электронной спектроскопии. Согласно этим данным металлокомплекс **I** имеет состав  $L:Ni(II)=1:1$  с вовлечением атома кислорода ОН-группы в состав координационного узла, а комплекс **II** – состав  $L:Ni(II)=2:1$  с координацией металла атомами азота  $N^1$  и  $N^5$  формазановой цепи.

Иммобилизацией формазанатов никеля **I** и **II** на стиролдивинилбензолные аниониты АН-18×10 и АН-20×6 по ионному механизму за счет электростатических сил притяжения получены твердофазные катализаторы.

Отличие в свойствах мономерных и твердофазных бензтиазолилформазанатов никеля (**II**) были изучены в реакции жидкофазного окисления сульфида натрия в температурном интервале 20-60 °С.

В данной реакции при комнатной температуре каталитическую активность среди мономерных бензтиазолилформазанатов никеля (**II**) проявил смешанный азоткислородсодержащий комплекс **I** с координационными узлом состава  $Ni|3N,O|$ , степень каталитического превращения серы  $S^{2-} \rightarrow SO^{4-}$  для которого составила 11 %. При увеличении температуры реакционной среды до 40 и 60 °С степень каталитического превращения серы в присутствии металлохелатов повышается до 98-99 %.

В случае твердофазных каталитических систем наибольшая активность при 20 °С отмечена для образца, полученного при иммобилизации металлокомплекса **II** на АН-18×10. Использование в качестве полимерной матрицы ионита АН-20×6 приводит к исчезновению каталитической активности.

С увеличением температуры реакционной среды (40-60 °С) активность сохраняют лишь каталитические системы, полученные закреплением металлокомплекса **I** на аниониты АН-18×10 и АН-20×6, степень превращения серы для которых составила 24 и 100 % соответственно. Для других комплексов с повышением температуры наблюдается снижение каталитической активности, что может быть обусловлено изменением состава или перестройкой координационного узла.

Таким образом, изучена возможность использования гомогенных и твердофазных каталитических систем на основе бензтиазолилформазанатов никеля в методе жидкофазного окисления токсичных сульфидов и установлены оптимальные условия проведения процесса.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Линевич С.Н. Комплексная переработка и рациональное использование сероводосодержащих сточных вод. М.: Стройиздат, 1987. С. 10-25.
2. Юффа А.Я. Гетерогенные металлокомплексные катализаторы. М.: Химия, 1981. 160 с.

3. Помогайло А.Д. Полимерные иммобилизованные металлокомплексные катализаторы. М.: Наука, 1988. 303 с.
4. Копылова В.Д., Астанина А.Н. Ионитные комплексы в катализе. М.: Химия, 1987. 190 с.

## **ЗАЩИТА ДРЕВЕСИНЫ В КРОВЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ОТ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ**

**Побединский В.В., Шуняев С.Н.** (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)  
[nto@krovtreade.ru](mailto:nto@krovtreade.ru)

### **PROTECTION OF WOOD IN ROOFING DESIGNS FROM BIOLOGICAL DAMAGE**

Важнейшими техническими характеристиками кровельных систем является показатели их эксплуатационной надежности. Надежность кровли зависит в первую очередь от самых ответственных деталей – узлов сопряжений покрытия к конструктивным элементам кровли, т.к. около 90 % всех дефектов возникают именно в этих местах. С целью совершенствования примыканий и повышения надежности кровли во многих конструктивных решениях узлов все больше стали использоваться деревянные элементы.

Благодаря неоспоримыми преимуществами древесины, как конструкционного материала, подобные технические решения в целом более предпочтительны. В этих случаях дополнительно закрепляются слои покрытия и элементы кровли из металла, более быстро и удобно выполняются соединения, изготавливаются отдельные технологические элементы. При правильном выполнении такие решения обеспечивают повышение надежности, производительности строительных работ, ремонтпригодности при эксплуатации, поэтому в нормативной документации рекомендуется широко использовать деревянные элементы в строительстве и проектировании кровли [1,2,3].

Однако на фоне проектных и строительных нарушений в части защиты древесины, складывается иная картина, в том числе применяется вообще необработанная древесина, и биологическое повреждение вызывает значительное снижение долговечности элементов кровельных конструкций и надежности кровли.

Так, обследования ЦНИИПромзданий показывают, что в большинстве конструкций мягкой кровли древесные материалы уже после первых двух лет эксплуатации имеют признаки пороков гниения (синевы, почернения). При такой интенсивности развития грибковых поражений примерно через 6-10 лет структура древесины разрушается, а надежность кровельных систем бывает значительно ниже проектной. Если такой ресурс элементов сопоставим со сроком службы кровли из материалов старых поколений, то для кровли из современных битумно-полимерных материалов с потенциальной долговечностью до 30 лет - это недопустимо.

Несмотря на указания во всех нормативных документах о необходимости предварительной обработки антисептиками или антипиренами, в кровельных конструкциях, как показывают обследования, древесина практически бывает не обработана средствами защиты и не оказывает сопротивления биологическим повреждениям.

Учитывая реальное положение в строительстве, ЦНИИПромзданий разрабатывались конструкции узлов примыканий мягкой кровли, по возможности, без использования элементов из древесины. Действительно, всегда при снижении числа элементов надежность системы повышается, но исключение элементов, которые используются для дополнительного закрепления, для совершенствования самых ответственных узлов, надежности конструкции не добавляет.

В строительстве применяются оба вида конструкций. В упрощенных вариантах учитывается стремление снизить трудоемкость, а для узлов с деревянными брусками отсутствуют конкретные рекомендации по их защите. Общее указание «обработанные антисептиком или антипиреном» [2,3] вообще не разделяет разные по функциональному назначению материалы, не говоря уже о технических требованиях, рекомендуемых марках и технологии применения.

Положение усложняется тем, что на рынке появилось много новых антисептиков, в качестве документации к которым прикладывается только рекламная листовка с гарантией защитных свойств на несколько десятилетий в любых условиях эксплуатации. Достоверные же экспериментальные данные об эффективности составов в тяжелых условиях эксплуатации отсутствуют.

Большинство из применявшихся ранее антисептиков не эффективны, многие из них не выпускаются промышленностью, данные по новым разработкам в этой области недостаточно освещаются в печати.

Аналогичная ситуация и с антипиренами, которые должны отвечать более серьезным требованиям по сертификации. Как следствие ограниченности нормативной документации, неосведомленности проектировщиков и строителей о средствах защиты древесины, происходит назначение неэффективных или недоступных материалов, либо некорректные назначения параметров защиты древесины в проектных решениях. Недостаточные защитные свойства материалов в тяжелых условиях эксплуатации также остается не решенной в настоящее время проблемой.

Таким образом, правильное выполнение защиты древесины в кровле от биологического повреждения является задачей актуальной, поэтому разработка соответствующих методик и рекомендаций позволят в полной мере использовать преимущества кровельных систем с деревянными элементами.

Общий подход к проектированию защиты древесины в кровельных системах можно изложить в следующей последовательности:

- в зависимости от параметров среды определяется класс условий службы деревянных элементов в кровельной конструкции;
- исходя из класса защиты, определяется антисептик;
- в зависимости от класса условий службы и типа антисептика определяется технология применения, при необходимости корректируется выбор антисептика;
- в зависимости от технологии и марки рассчитываются параметры защищенности и определяется качество пропитки.

Как видим, условия эксплуатации являются исходными при проектировании, поэтому первоочередной задачей является обоснование условий эксплуатации древесины в кровельных системах и обеспечение корректного выполнения процедуры проектирования защиты древесины.

Следует сказать, что вопрос проектирования биологической защиты, как таковой, не применим только для одного средства – антисептика мышьяковой группы «УЛТАН». Этот препарат - единственный в России, который обеспечивает защиту древесины более 50 лет в любых условиях эксплуатации, при этом экологически безопасен, снижает показатель воспламеняемости древесины не менее чем на 2 класса, внесен в ГОСТ 20022.0-93, изм. 1.

**Условия эксплуатации древесины в кровле.** В литературных источниках имеются противоречивые данные по режимам эксплуатации кровельных систем с элементами из древесины.

Так, согласно [4] условия эксплуатации древесины в ограждающих конструкциях оцениваются как тяжелые режимы, т.е. по ГОСТ 20022.0-93 выше VII - VIII класса.

Если руководствоваться классификацией [4], то режимы в кровле для древесины будут соответствовать IV-V классу эксплуатации.

В строительной нормативно-технической документации указывается вид защиты древесины в кровле от биопоражения – антисептирование, т.е. поверхностное нанесение антисептика с глубиной проникновения не более 1 мм. Подобная обработка может обеспечить выполнение защитных свойств в легких режимах эксплуатации I-II класса без условий вымывания антисептика.

Расхождение в данных объясняется тем, что в строительстве применяется большое количество конструктивных решений для зданий и сооружений различного назначения, которые находятся в разных климатических зонах. К тому же параметры температурно-влажностных режимов в ограждающей конструкции представляются в виде динамического процесса, который зависит от ряда факторов. Поскольку однозначной оценки нет, то при проектировании нужно рассматривать конкретные варианты и учитывать специфику работы каждой конструкции.

Условия работы элемента зависит от его местонахождения в конструкции. Если бруски укладываются в верхней части теплоизоляционного слоя, т.е. в плоскости возможной конденсации, то возможны периодические промерзания, увлажнения от появления конденсата. В нижней части теплоизоляционного слоя предполагается отсутствие конденсата и отрицательных температур.

В конструкции мягкой кровли деревянные бруски укладываются в толщу утеплителя, например, минераловатных плит, находятся в контакте с кровельными материалами, металлами, стенами, в этом случае вентиляция отсутствует.

В материал брусков закрепляются саморезы, гвозди, т.е. выполняют ответственную функцию, поэтому структура древесины должна длительно сохранять механическую прочность. Пропиточные составы не должны вызывать коррозию металлов, не вступать в химическую реакцию со щелочной средой железобетонных конструкций.

В настоящее время массовое применение нашли крепежные элементы нового поколения, и резко сократилось использование кровельных гвоздей из черного металла. Более совершенные современные элементы, как правило, самонарезающие винты имеют противокоррозионное покрытие. Поэтому их допустимо не учитывать при назначении типа антисептика. С аналогичным покрытием выполняются и специальные анкерные дюбели в кровле из полимерных мембран.

Определяющим для выбора типа защиты древесины является температурно-влажностный режим кровельной системы.

**В мягкой кровле** можно выделить характерные режимы. Так для кровельной системы с пароизоляцией из битумно-полимерного материала будет минимальная диффузия влаги в подкровельное пространство. При правильно выполненном расчете конденсат не появляется и проектными условиями можно считать незначительное появление влаги, которая не вымывает из древесины антисептик, при этом отсутствуют условия вентиляции. Подобные условия характерны для неэксплуатируемой традиционной кровли с теплоизоляцией из минераловатных плит и полимерно-битумных материалов (в т.ч. и пароизоляционного слоя).

В последние годы с появлением в России с полимерных мембран большое распространение получили кровельные системы на основании из профилированного настила, где предусматривается механическое закрепление теплоизоляции и полотнищ мембраны. Механический крепеж пробивает профлисты и повреждает пароизоляционный слой, который, как правило, в таких кровлях выполняется из п/э пленки. В системах этого типа неизбежно проникновение паровоздушной смеси из теплого помещения, но благодаря низкому сопротивлению паропрооницанию водоизоляционного ковра из полимерной мембраны происходит диффузия влаги как наружу, так и во внутреннее помещение (при поврежденном пароизоляционном слое диффузия усиливается).

В качестве достоинств полимерных мембран указывается их высокая паропрооницаемость и соответственно большое количество удаляемой влаги из конструкции. Принимается, что вся возможная влага удаляется из подкровельного пространства. Но в подобной системе проявляется достаточно интенсивный процесс фильтрации паровоздушной смеси, т.к. при большом количестве удаляемой влаги, предполагается также и большое количество влаги проникающей в теплоизоляцию. В проектных расчетах теплоизоляции следует принимать значения соответствующие влажностными условиями Б, а для древесины учитывать условия с повышенной влажностью и периодические увлажнения в плоскости возможной конденсации, т.е. нижней поверхности мембраны.

**Режимы скатной кровли.** Условия эксплуатации скатной кровли имеют свою специфику.

Детали скатной кровли (обрешетка, контробрешетка, плоский настил, стропила), в основном, находятся в температурных режимах внешнего климата. В толще утеплителя мягкой кровли температурные колебания меньшей амплитуды, древесина может подвергаться периодическим увлажнениям, но это является следствием нарушений и можно отнести к единичным воздействиям. Теплотехнические расчеты должны обеспечить параметры, при которых конденсат отсутствует.

Температурно-влажностный режим такой системы зависит от многих параметров конструкции - длины и уклона ската, материалов, наличия теплоизоляции, сечения и конструкции вентиляционных каналов, наличия ветрозащитного слоя и др.

Режимы условий эксплуатации кровли с холодным чердаком являются легкими и относятся к I-II классу по ГОСТ 20022.0-93.

Наиболее тяжелые режимы в скатной кровле возникают при наличии в конструкции теплоизоляционного слоя (теплой кровле). При этом условия вентиляции усложняются в случаях:

- увеличении длины ската;
- снижении уклона;
- увеличении температуры и влажности внутри помещения;

- уменьшения площади сечения вентиляционных каналов;
- увеличения сопротивления паропрооницанию материала ветрозащитного слоя.

**Защита древесины кровли антипиренами.** Несмотря на большое количество рекламируемых средств, добиться снижения огнестойкости деревянных конструкций чрезвычайно сложно.

Деревянные конструкции скатных крыш больше нуждаются в обработке антипиренами, чем кровли из рулонных материалов в которых древесина находится внутри ограждающей конструкции, а битумно-полимерные материалы с классом горючести Г4 имеют защитный верхний слой.

Эффективным мероприятием будет снижение уровня скрытого горения.

В соответствии с [5] (п.7.8) древесина в кровле не должна способствовать скрытому горению, поэтому предпочтительно, чтобы антисептики и антипирены выполняли обе защитные функции, были комбинированного действия. Однако эффективность биологической защиты огнебиозащитных препаратов ниже, чем биозащитных средств, так же срок их действия ограничен и требуется периодическое обновление покрытия в конструкции. Поэтому, согласно п.7.12\* [5] специальное назначение огнезащитных покрытий в местах, исключаяющих возможность их периодического восстановления, не допускается. Именно в таких условиях находится большая часть элементов из древесины в конструкциях кровли.

Применение антипиренов в конструкциях мягкой кровли нецелесообразно экономически, в случае назначения огнезащиты не отвечает обязательным требованиям СНиП 21-01.

Определяя методы защиты, следует учитывать общепризнанный факт, что из деревянных конструкций преждевременно приходится заменять только 5 % по причине пожаров, а вследствие биоразрушений 95%.

**Технологи использования антисептиков.** При определении технологии следует учитывать, что древесина в кровлю используется в условиях стройки, а это, как правило, пиломатериалы, следовательно, предполагается подгонка деревянных элементов по месту в конструкции. После операции пропитки древесина не подлежит обработке, поэтому наиболее приемлемой технологией будет не пропитка или антисептирование пиломатериалов, а готовых конструкций.

В строительстве при отсутствии готовых изделий из антисептированной древесины возможно выполнение операции защиты конструкций на рабочем месте методом нанесения. Существует четыре способа нанесения препарата – окунание с выдержкой в ванне, опрыскивание, окрашивание, диффузионный (нанесение пасты с последующей выдержкой).

Окунание требует определенного оборудования и условий, последующая механическая обработка древесины не предусматривается.

Напыление на открытом воздухе концентрата препарата может быть нецелесообразно.

Преимущество диффузионного метода в том, что не нормируется влажность древесины, для других способов влажность перед пропиткой, как правило, не выше 30 %. Диффузионный метод нанесения препарата (без бандажирования) предпочтителен в конструкциях мягкой кровли и скатной с утеплением.

Удобным способом нанесения препарата в условиях стройки будет окрашивание кистью или валиком.

**В мягкой кровле** следует учитывать следующее:

- антисептиками в расчете на условия работы при периодических увлажнениях и промерзании в период до 6 мес.;
- срок действия антисептиков должен быть эквивалентен ресурсу современных кровельных материалов, т.е. в кровле с битумно-полимерными материалами, это составляет не менее 12-15 лет (ресурс между капитальными ремонтами);
- применение антипиренов нецелесообразно экономически, а также из-за их более низкой долговечности и не соответствия условиям эксплуатации.

**В скатной кровле** деревянные конструкции должны обрабатываться с учетом следующих моментов:

- в местах с повышенной влажностью и отсутствием вентиляции вместо антипиренов эффективнее использование антисептиков, как обладающих более высокой био-защитной способностью;
- применяемые антисептики должны обладать защитными свойствами от тления, снижать уровень воспламеняемости древесины;
- если поверхности деталей не подвергаются дополнительной механической обработке то может выполняться предварительная пропитка пиломатериалов на соответствующем оборудовании, в противном случае используется технология антисептирования при выполнении строительных работ; наиболее предпочтительные способы при этом являются нанесение кистью или диффузионный метод без бандажирования.

Изложенные характеристики, особенности режимом, рекомендации должны составлять основу методики проектирования защиты древесины в кровле от биологического повреждения.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руководство по применению битумно-полимерных материалов марки «КТ®» в кровле и гидроизоляции. – Екатеринбург: «КровТрейд», 2006. – 140 с.
2. Руководство по проектированию и устройству кровель из битумно-полимерных материалов кровельной компании «Технониколь». – М.: «Технониколь», 2002. – 49с.
3. СП 31-101-2004. Кровли. Проектирование и строительство. Рег. № 1063-ПП от 12.11.2004. - Екатеринбург: Союз предприятий строительной индустрии Свердловской области, 2004. - 113 с.
4. ГОСТ 20022.0-93. Защита древесины. Параметры защищенности.
5. СНиП 21-01-97\*. Пожарная безопасность зданий и сооружений.

## **ПРИМЕНЕНИЕ КРОВЕЛЬНЫХ И ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА АНТИСЕПТИРОВАННОЙ КАРТОННОЙ ОСНОВЕ**

**Шуняев С.Н., Побединский В.В., Рычков В.Г.**  
(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [nto@krovtreade.ru](mailto:nto@krovtreade.ru)

### **APPLICATION OF ROOFING AND WATERPROOFING MATERIALS ON ANTISEPTIC TO A BASIS**

В процессе совершенствования кровельных и гидроизоляционных материалов особое внимание уделяется армирующим основам. Материалы первых поколений выпускались на картонной основе, которые имели два основных недостатка – подверженность биоповреждению и низкие механические характеристики.

Замена картона на стеклоосновы позволила улучшить эти свойства, но для надежной эксплуатации покрытия требуется достаточная эластичность, которую стеклохолст и стеклоткань не могут обеспечить. Применение основ из полиэфирных волокон улучшают эксплуатационные свойства, эластичность, биостойкость материалов, но их стоимость значительно возрастает. Кроме того, основы на полиэфирных волокнах так же не термостойкие, как и картонные.

В зарубежной практике подавляющее большинство кровельных материалов производится на полиэфирных волокнах. Причиной является скорее экономические показатели, т.к. стоимость полиэфирных волокон за рубежом незначительно отличаются от стоимости стеклооснов.

В России основы для кровельных материалов на полиэфирных волокнах не выпускаются, отечественное производство снабжается в настоящее время только импортным сырьем. Строительство заводов планируется, но если на них будут использоваться зарубежные технологии, сырье, то большое снижение стоимости продукции маловероятно.

С другой стороны картонная основа за рубежом и в России не сопоставима по стоимости с синтетическими основами. Если на Западе продукция целлюлозно-бумажного производства может быть выше стоимости синтетических материалов, то в России, наоборот, дешевле. Таким образом, возникают экономически не сопоставимые соотношения цен, а оценки «цена – эксплуатационные свойства» дают иную картину.

Так, сопоставление стоимости кровельных материалов на картонной основе, которые в основном производятся только в Скандинавских странах, где развита сырьевая база для целлюлозно-бумажной промышленности, с другими материалами ориентировочно такое:

- в странах Европы картон может быть на 10-30 % дороже стеклоткани и основ из полиэфирных волокон;
- в России картон в 1,5-2 раз дешевле, чем другие основы.

Сопоставление с учетом только физико-механических параметров покажет несбалансированность цен за рубежом и в России. Учет только параметров при определении технической политики также приводит к искажениям. Например, несмотря на административный запрет на использование рубероида в новом строительстве Московского региона, наращивание мощностей новых материалов и внедрения современных

технологий для их производства (заводы ЗАО «Технониколь», «Фили Кровля», в г. Кириши), массовой рекламы новых и антирекламы рубероидов, на рынке складывается другое положение - более половины кровельных материалов выпускаются на картонной основе. Такая картина будет сохраняться в ближайшие годы, также, несмотря на теоретические прогнозы.

Пропаганду новых материалов усиливает положение в строительстве, когда рекламным штампом стало «...средний срок службы кровель из рубероида составляет 5-6 лет практически при ежегодных ремонтах...». При этом умалчивается факт, что почти 70% дефектов кровли возникает по причине нарушений при строительстве, около 13 % из-за ошибок проектирования, а остальные являются следствием нарушения правил эксплуатации [1] и качества материалов.

Аналогичная статистическая картина наблюдается и за рубежом [1,2,3]. В настоящее время общепризнано, что почти все дефекты кровли в течение первых 2-3 сезонов эксплуатации возникают по причине строительных нарушений. В связи с этим высказываются мнения по вопросу страхования, что первые два года страховую ответственность за кровлю должен нести исполнитель строительных работ [4]. Так же «качественно» выполняются и ремонтные работы. Сопоставление этих фактов со «средним сроком службы 5-6 лет», показывает, что недолговечность рубероида вообще не просматривается как причина низкой надежности кровли, а замена картонной основы на более прочную, эластичную, биостойкую и долговечную из синтетических материалов ожидаемого эффекта не дает.

На практике эти факты находят подтверждение. Так, в США согласно статистическим данным, до начала периода массового выпуска полимерно-модифицированных и эластомерных материалов кровли из материалов подобных рубероиду (по параметрам ближе к пергаменту) в среднем служили около 20 лет. С появлением современных материалов долговечность даже снизилась почти до 15 лет [2,3]. Складывается ситуация, когда материалы все улучшаются, совершенствуется технология укладки, а надежность кровли падает.

Зато общепризнанный факт «средний срок службы кровли из рубероида 5-6 лет» тоже не совсем точный. Существует множество примеров, когда такие кровли служили 20 и более лет, вообще не требуя ремонта. Относительно кровель из битумно-полимерных материалов таких статистических данных пока у нас в стране нет.

Рекламные акции о преимуществах битумно-полимерных и эластомерных материалах умалчивают важнейшую сторону – сравнительный экономический эффект, а в тех случаях, когда делаются попытки сравнения, то для базового и предлагаемого варианта принимаются несопоставимые условия. Например, в рекламе часто приводилась сравнительная оценка удельных затрат на возведение и эксплуатацию кровель из полимерно-битумных материалов и рубероида. Предполагается ресурс кровель, соответственно, 5 лет для рубероидных кровель при ежегодных ремонтах и 20-25 лет (принимая потенциальный срок службы) из полимерно-битумных. Но, как было сказано, низкий срок службы не более 5 лет - это следствие нарушений. Разумеется, базовый вариант рассчитывается с учетом всех нарушений, а вот для кровли из современных материалов обязательно соблюдение СНиП, всех рекомендаций и правил эксплуатации. В результате материал, который более чем в десять раз дороже, становится выгоднее экономически в несколько раз.

Не следует считать, что полимерно-битумные материалы малоэффективны, у каждого типа материалов свои достоинства и недостатки. Достоинством битумных ма-

териалов на картонной основе является более низкое сопротивление паропроницанию, поэтому в кровле с водоизоляционным ковром из таких материалов будет меньше опасность накопления конденсата. Для пароизоляционного слоя, наоборот, наилучшие паробарьерные свойства обеспечат полимерно-битумные материалы.

При проектировании кровельной системы из полимерно-битумных материалов следует выполнять расчеты параметров многослойной конструкции ограждения с учетом температурно-влажностных режимов, а не просто назначать, как это практикуется на сегодня.

Главными недостатками рубероида является слабая механически, не биостойкая основа и трудоемкая технология укладки на мастики. Улучшение любого из этих свойств значительно повышает класс эксплуатационных свойств.

Хорошим примером является «наплавляемый рубероид» - рубемаст. Несмотря на невысокие физико-механические параметры, картонная основа, благодаря пропитке низкоокисленным битумом, имеет свои преимущества перед стеклоосновами. Эти конструктивные особенности достаточно подробно описываются в статье «Апология рубемасту», которая за последние годы несколько раз публиковалась в СМИ, что говорит об актуальности темы.

Таким образом, перспективность производства битумных материалов на картонной основе обоснована экономически, а возможности их совершенствования еще не исчерпаны.

Возможные направления совершенствования материалов на картонной основе:

- использование технологии наплавления;
- повышение свойств битумного вяжущего;
- повышение свойств основы.

Рассмотрим эти направления подробнее.

Наплавляемого типа материал на картонной основе уже создан и эффект от его использования очевиден.

Заметно повысить параметры битумного вяжущего без больших затрат на сегодняшний день невозможно. Например, полимерных модификаторов требуется вводить не менее 12 % - 15 %. В результате резко возрастает стоимость материала. Ввод модификатора менее 8 % не обеспечивает инверсии фаз и получаются, так называемые, «псевдомембраны», которые обладают сходными с битумно- полимерными материалами параметрами, но низкой долговечностью и также высокой стоимостью.

Наиболее перспективным элементом для совершенствования конструкции таких материалов представляется армирующая основа.

Во время эксплуатации кровли, под влиянием климатических факторов происходит старение, асфальтизация и растрескивание вяжущего. В трещинах, которые проникают до картонной основы, скапливаются пыль, влага, создается благоприятная для развития микроорганизмов среда, развиваются грибы. С ростом трещин, потерей прочности происходит разрушение битумного вяжущего и армирующей основы. Картонная основа является хорошей питательной средой для грибов, грибы-полифаги и некоторые специфические виды грибов повреждают нефтяные битумы, другие полимеры.

Следовательно, биологическое повреждение вызывает значительное снижение долговечности кровельных материалов. Наиболее сильными разрушителями целлюлозосодержащих материалов в кровле являются грибы, для защиты которых имеется большое количество составов. Однако сложность проблемы антисептирования картонных основ имеет несколько технических и технологических моментов.

Существующие водорастворимые антисептики:

- невозможно без коренной реконструкции использовать в кровельном картоне, т.к. требуется вводить их либо в целлюлозную массу, либо в готовый картон;
- при их низкой защитной способности и легковымываемости использовать неэффективно;
- имеют слабые сорбционные связи с картоном, поэтому возможны миграции частиц препарата на поверхность кровельного материала;
- могут снизить механические характеристики картона;
- при высокой стоимости и значительной реконструкции производства могут привести к повышению себестоимости продукции до экономически неэффективного уровня.

Самые эффективные антисептики группы ССА (Cr-Cu-As) также являются водорастворимыми в момент приготовления препарата. После введения в древесину происходит реакция взаимодействия с волокнами в течение нескольких часов, что на конвейере бумагоделательных машин, и тем более не в древесине, а в целлюлозосодержащей массе, трудно реализовать технически. По указанным причинам потребовался принципиально новый подход к решению задачи.

В 1994 г. в УГЛТА [5] был разработан метод повышения биостойкости кровельных материалов путем введения в картонную основу суспензии кек-отхода медеплавильного производства.

Попадая в массу материала, частицы вступают в реакцию с волокнами и образуют прочные хемосорбционные связи. Благодаря полученной структуре у картона стойкость к биологическому поражению возрастает почти в 30 раз, прочность на разрыв на 20%.

Экспериментально было проверено два способа введения антисептика. Один - в целлюлозную массу после варки, второй - в раскладку на конвейере. Каждый из способов имеет свои преимущества и недостатки, и требовалась промышленная доработка окончательного варианта, но на тот момент исследования прекратились.

Появившиеся за последнее время технологии в состоянии технически решить такую задачу. Так в технологической линии заводе «Алтея» (Барнаул) установка фирмы «BASF» позволяет вводить антисептический состав на любую глубину картона. Однако в ходе прогресса изменилась структура кровельных материалов, появились группы новых, более совершенных материалов, поэтому в современных условиях производство и применение даже усовершенствованных материалов первого поколения требует технико-экономического обоснования. Можно показать на примере один из подходов к решению такой задачи.

В настоящее время номенклатура выпускаемых по техническим условиям и ГОСТ кровельных и гидроизоляционных рулонных материалов достигает 360 марок и модификаций [6], что усложняет для потребителей задачу выбора материала. Вместе с тем, многие марки являются аналогами, другие имеют близкие характеристики. В целом, диапазон эксплуатационных свойств относительно небольшой, поэтому на потребительском рынке сложилась определенная классификация по технико-экономическим показателям.

С одной стороны, по уровню технического совершенства обширная номенклатура материалов классифицированы на четыре поколения [6,7]:

- I - битумные на картонной основе;
- II - битумные наплавленного типа на картонной основе;

III - битумные наплаваемого типа на негниющих основах;

IV - битумно-полимерные наплаваемого типа на негниющих основах.

С другой стороны, учитываются экономические показатели. Поступая на рынок, к техническим характеристикам материалов добавляется определяющее свойство – стоимость. Деление на классы представляет собой сложившуюся на сегодня оценку уровня соотношения «цена-качество».

Подразделение кровельных материалов на примере марок параметрического ряда «КТ<sup>®</sup>» (производство Компания «КровТрейд») по такой классификации и сопоставление параметров приведено в таблице 1,2.

Материалы на биостойких основах распределяются в рыночной структуре следующим образом.

Т а б л и ц а 1 – Физико-механические параметры кровельных материалов

Наплаваемые рулонные битумно – полимерные материалы									Рубероид
Параметры	КТкром-перфор	КТЭлит	КТЭ-ласт	КТФлекс	КТПласт	КТкром	Бикротоль «зима»	Бикротоль «лето»	ГОСТ 10923
Гибкость на брусе 25мм, не выше, °С	0	-15	-25	-15	-10	-5	-10	0	5
Теплостойкость в течение 2 часов, не ниже, °С	80	140	100	95	130	90	80	85	80
Разрывная нагрузка, кгс/5 см на основе: Х/Э/Т <sup>1)</sup>	30/-/-	30/40/80	30/40/80	30/40/80	30/40/80	30/40/80	30/-/80	30/-/80	28 <sup>2)</sup>
Условный срок службы, лет	10	20	25	20	15	10	10	8	5
Тип вяжущего или модификатора <sup>3)</sup>	Битум	АПП	СБС	СБС	АПП	Битум	СБС	Битум	
П р и м е ч а н и я - <sup>1)</sup> Т- стеклоткань, Х- стеклохолст, Э – полиэстер; <sup>2)</sup> Основа картонная; <sup>3)</sup> Битум – вяжущее на основе высокоокисленного битума; АПП- атактический полипропилен; СБС- стирол-бутадиен-стирол.									

В соответствии с заключением ЦНИИПромзданий потенциальный срок службы антисептированного рубероида увеличивается в 1,5-2 раза. Но даже при таком увеличении он остается в низшем классе, т.к. по технологии применения он наклеивается на мастики. На практике - это применение битумоварочных котлов и дополнительные трудозатраты.

Наплаваемого типа материал «БиКроТоль<sup>®</sup>» до настоящего времени выпускался только на стеклоосновах в двух модификациях «лето», «зима». Учитывая высокий спрос на менее дорогостоящие материалы, Компания «КровТрейд» приступила к выпуску «БиКроТоль<sup>®</sup>-«лето» на картонной основе. Такая модификация понизила эксплуатационные свойства материала, и при использовании не биостойкой основы он бу-

дет относиться ко второму классу классификации. После применения антисептированного картона он классифицируется как материал «битумный наплаваемого типа на негниющих основах» и по свойствам относится к третьему классу «Стандарт», с долговечностью до 15 лет. Таким потенциальным ресурсом обладают уже модифицированные материалы со стоимостью в несколько раз выше.

Т а б л и ц а 2 – Рыночная классификация кровельных материалов «КТ®»

Класс	Критерий принадлежности к классу	Поколение материала	Срок службы, лет	Марка
«Премиум»	Максимальные значения параметров. Максимальная надежность кровли. Для стратегически важных объектов.	IV	25	«КТэласт®»
«Бизнес»	Достаточно высокие значения параметров. Практичность при укладке и эксплуатации. Материалы для новых, современных объектов.	IV	20	«КТфлекс®», «КТэлит®»
«Стандарт»	Массовое строительство или ремонт. Стандартные объекты.	III	10-15	«КТпласт®», «КТкром®», «БиКроТоль® «зима»
«Эконом»	Минимальная стоимость покрытия. Достаточная надежность кровли.	III	8	«БиКроТоль® «лето»
«Эконом»	Минимальная стоимость. Наплаваемые. Основа-картон.	II	8	«БиКроТоль® «лето»-КПП(ККП)
-	Минимальная стоимость. Наклейка на мастики. Минимальные параметры.	I	5	«Рубероид»

Таким образом, результатом применения в строительстве кровельного и гидроизоляционного наплаваемого материала «БиКроТоль®-«лето» на биостойкой картонной основе будет значительное повышение основных технико - экономических показателей кровли.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Манькин А.М. Кровли и их элементы. Справочник. Изд. 2-е, измененное и дополненное. –М.: Три Л, 2006. – 368 с.
2. Practical Experience with Bituminous Low-Slope Roofs in Cold Climates. Proceedings of 4-th International Symposium on Roofing technology. USA NRCA, 1997.
3. Cullen W.C. Survey compares practices to problems. Project Pinpoint uncovers success and failures. «Roofing Speak». October 1984.
4. Горелов Ю.А. Гарантия на кровлю: свой путь или чужой опыт? Эволюция кровли. № 3(6), 2005 г. с. 54-56.
5. Сапегина С.Г. Исследование и разработка гидроизоляционного кровельного материала с повышенной устойчивостью к биологическому повреждению. Дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург: УГЛТА, 1995. – 168 с.
6. Зельманович Я.И., Могилевский В.Д. Рынок рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов в России в 2004 г.: ситуации, тенденции, сценарии развития. Отчет о результатах маркетинговых исследований. – М.: ООО «Гидрол-Кровля», 2005. – 124 с.
7. Попов К.Н., Кадко М.Б. Эволюция битумных кровельных материалов. Эволюция кровли, №2(5), 2005 г. с.30-32.

*Проблемы профессионального образования и  
инжиниринга в деревообработке*

**ПРОФИЛИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРОВ – ТЕХНОЛОГОВ  
В ОБЛАСТИ ДИЗАЙНА МЕБЕЛИ**

**Тракало Ю.И., Чернышев О.Н., Ветошкин Ю.И.**  
(УГЛТУ, РФ, г. Екатеринбург) [mod@usfeu.ru](mailto:mod@usfeu.ru)

**SPECIALIZATION OF THE ENGINEER-TECHNOLOGIST  
IN THE FIELD OF DESIGN OF FURNITURE**

В настоящее время функционирует достаточно развитая сеть производителей разнообразных конструкций мебели различного назначения. Кажущаяся легкость изготовления мебели, особенно из ЛДСП, дает возможность как – бы быстрого становления производства. Технологичный, универсальный, доступный конструкционный материал, минимально необходимое количество единиц оборудования, богатая и разнообразная рекламная продукция, наличие различных каталогов мебели и довольно частые не всегда весомые и значащие выставки дают почву для такого предположения. Однако большинство производителей, особенно руководителей различных ООО, ОАО, СП, ЧП и т.д. уже сейчас сталкиваются с проблемами, которые в первоначальный период, как бы для них были не значимы или не познаваемы. В силу этого продукция большинства фирм безликая, композиция не выразительная, функционально не потребная, да и в цветовом решении желает иметь более эффектное исполнение. Что же касается стилевого направления, так это совсем трудно оценить, главным образом идет копирование кажущихся лучшими образцов, а в реальности это заурядные изделия не вызывающие эмоций у потребителей.

В связи с этим, на кафедре механической обработки древесины в подготовке специалистов технологов по деревообработке, в течение последних лет наметилась специализация отдельных студентов в области дизайна мебели.

Каковы особенности этой подготовки, и каковы мотивы?

Многие предприятия запрашивают специалистов технологов со знанием основ дизайна и конструирования мебели, да и многим выпускникам приходится совмещать различные обязанности в фирмах, а именно:

- принятия заказа на изготовление мебели для конкретного помещения;
- проработка его конструктивных особенностей;
- решение некоторых вопросов в области формообразования, цвета, композиции, способа соединения отдельных элементов, сборочных единиц и др. Это все говорит о том, что нашим студентам, конечно, не всем, а способным воспринять и воспроизвести «дизайнерские» разработки необходимы дополнительные знания в этих областях. Обучив технологов основам дизайна и конструирования мебели, статус таких выпускников значительно повысится. Это подтверждается выпуском в последние годы специалистов, которые ориентируются в области дизайна и конструировании мебели, с разработкой в своих дипломных работах отдельных разделов и графических работ с элементами ди-

зайна и, как следствие, такие выпускники устраиваются на работу в более престижные фирмы, с более высокими дивидендами.

Пример:

Соловей Е.В. менеджер, ООО «Элекком - урал»;  
Латынов Роман дизайнер, CG Cituroom\$  
Ляпина Е.В. дизайнер, фирма «Гриал»;  
Решетниченко О.Г. менеджер, ФК Озерская фурнитурная компания;  
Масная С.В. менеджер, Карат –Е, Офисная мебель;  
Кремс Е.Г. дизайнер, ООО Торговая мебель;  
Окорзина А.В. зам. ген. директора, ООО «Блисс - Мебель»;  
Хамалинский С.А. директор, ФК «Элфис»;  
Сициховская Я.П. руководитель салона, МФ «Союз – мебель» и др.

Опыт работы в этой области доказывает, что выбрано правильное направление в подготовке выпускников ориентированных в области дизайна и конструировании, а также готовить таких специалистов необходимо уже с первых дней пребывания их в вузе, т.е. с первого курса и не всех, а проводя отбор по определенным критериям.

Сегодня действует следующая система в расширении знаний у студентов технологов в области дизайна мебели:

- на первом курсе все студенты во время учебной практики знакомятся с древесиной как конструкционным материалом, знакомятся с ее основными физико-механическими и декоративными свойствами, при этом выполняют такие работы как изготовление различных шиповых соединений (ласточкин хвост, в потемок, одинарный, двойной шип и др.). Обрабатывают шпон различных пород древесины, превращая его в мозаичную композицию в виде геометрического орнамента, а в последующем выполняют сюжетный мотив в технике маркетри. Все работы выполняются ручным дереворежущим инструментом на рабочих столах и верстаках.

- на втором курсе студенты изучают во время учебной практики деревообрабатывающие станки и приемы работы на них. Выполняют сеть лабораторных работ, знакомятся с технологией изготовления фанеры, ДСП, приемами пиления, лущения, фрезерования, сверления шлифования древесины и древесных материалов.

- на третьем курсе студенты знакомятся с основами технической эстетики и выполняют домашнее задание. При выполнении, которого они самостоятельно разрабатывают и описывают жилые помещения с оборудованием разнообразной мебелью и организацией интерьера:

- выделяют функциональные зоны;
- расставляют мебель, организуют пространственную среду в соответствии с габаритами помещения;
- вычерчивают развертку по стенам;
- изделия мебели подбирают по каталогам;
- изображают перспективу помещения в цветовом решении.

На третьем курсе начинается формирование группы студентов желающих заниматься в данном направлении, в связи с чем, со всеми желающими проводится тестирование с выполнением рисунка в карандаше какой-либо технической фигуры или изделия.

Тест содержит девять разделов:

- визуальная оценка пропорционального решения ряда прямоугольников;

- восприятие линии как основы организации формы;
- умение читать чертеж и строить не достающие проекции различных фигур;
- представление о воображении по оценке некоторых фигур;
- понятие динамики, статики, основ восприятия изделия мебели по цвету, форме и композиционном решении;
- составление композиции на воображении, сюжетной, равновесной из цветовых фигур;
- понятие, что такое шрифт и выполнение конкретных заданий по применению того или иного шрифта для раскрытия темы;
- психологическое и физиологическое понятие цвета;
- отличительные особенности классических стилей мебели

Все работы оцениваются по бальной системе, по набранным баллам формируется учебная группа из 22 – 25 человек. На 3, 4 и 5, курсах для них читаются следующие дисциплины, с выполнением ряда практических работ для закрепления полученных навыков:

- основы дизайна;
- основы конструирования;
- дизайн интерьеров;
- специальные виды отделки.

Практические работы выполняются самостоятельно как в виде домашних заданий, так и под руководством преподавателя во время практических и лабораторных занятий. Вот некоторые из них:

- анализ формообразований в природе;
- композиция на плоскости;
- объемная композиция сюжетная, сочетание различных форм;
- сообщение в виде рисунка с использованием шрифта;
- изучение столярной конструкции по оригиналу;
- разработка конструкции мебели по модели;
- выполнение домашнего задания с разработкой общего вида изделия, способов соединений деталей и узлов, описание изделия;
- составление проекта по интерьеру.

Итоговые результаты образовательного процесса представляются и защищаются в ГАК в виде выпускной квалификационной работы (дипломной работы), по следующей тематике:

- дизайн – проект гостиной;
- дизайн – проект детской игровой площадки;
- дизайн – проект прихожей;
- дизайн – проект помещения сауны;
- разработка конструкции и технологии изготовления детского уголка;
- разработка конструкции и технологии изготовления набора мебели для спальни;
- разработка конструкции и технологии изготовления пристенной мебели для жилой комнаты.

Изучив и освоив предложенный материал и выполнив практические задачи, подходя творчески к их выполнению, можно достичь определенных результатов в конструировании изделий из древесины и иметь представления о дизайне. Постепенное изучение материала, с введением более сложных задач поможет исполнителю, студенту,

изучающему вопросы конструирования изделий из древесины, в разработке и дизайне изделий и это позволит повысить уровень исполнительского мастерства, создать варианты решений и грамотно подойти к разработке той или иной конструкции.

## **НЕКОТОРЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ МАТЕРИАЛА ЛЕКЦИИ И УЧЕБНОГО ИЗДАНИЯ**

Глебов И.Т. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ),  
[GIT5@yandex.ru](mailto:GIT5@yandex.ru)

### **SOME RECOMMENDATIONS FOR PREPARATION OF A MATERIAL OF LECTURE AND THE EDUCATIONAL EDITION**

*Умные люди – это те же пахучие цветы:  
один приятен, а от целого букета болит голова.*

Б. Ауэрбах

В учебном процессе вуза основными формами получения знаний являются лекция и самостоятельная работа с учебной книгой. В предлагаемой статье поднимается вопрос о том, каким должен быть учебный материал, чтобы его можно было понять и запомнить с наименьшими затратами труда.

#### **Якорь**

Для успешного общения с читателем или слушателем необходимо прежде всего выполнить ряд действий: привлечь внимание, вызвать интерес. Для этого каждый раздел сообщения, главу, параграф желательно начинать с создания положительно-эмоционального фона.

Если обучение ассоциируется с чем-то приятным, оно эффективно. С приятными и неприятными переживаниями человека связаны свойства памяти. Если, открывая главу книги, читатель видит большой монотонный текст, который предстоит запомнить, то у него пропадает желание работать.

Чтобы что-то вспомнить, надо вернуться в то состояние, в котором была получена информация. Так работает память. Если учебный материал был прослушан или прочитан в момент плохого настроения обучающегося, то чтобы вспомнить его через некоторое время, обучающийся должен вернуться в состояние получения информации. А поскольку он не хочет чувствовать себя плохо, то вряд ли вспомнит этот учебный материал.

Для создания положительно-эмоционального фона можно использовать различные способы: эпиграф, хорошие стихи, анекдоты, байки, факты из истории открытий, краткие биографии ученых, картинки и др. Все эти способы называют якорем.

**Якорь – это любой раздражитель.**

**Первое правило.** При подготовке материала лекции или учебного издания в каждом разделе, части, главе старайтесь поставить якорь, с целью формирования у обу-

чающихся положительно-эмоционального фона. Смелее фантазируйте в поисках удачного якоря.

*Память человека есть лист белой бумаги:  
иногда напишется хорошо, а иногда дурно.*

К. Прутков

## Закон кратковременной памяти

Лектор или автор учебного издания стремятся изложить учебный материал так, чтобы обучающиеся могли его запомнить и пересказать на экзамене или зачете. Для достижения такой цели необходимо, чтобы излагаемый учебный материал подчинялся закону кратковременной памяти. Формула закона кратковременной памяти:  $7 \pm 2$ .

Согласно закону памяти человек может воспроизвести такое количество единиц учебного материала, максимальный объем ряда единиц которого равен объему кратковременной памяти –  $7 \pm 2$ . Таким образом, человек способен без затруднения воспринимать 5 – 9 связей, оперировать одновременно с 5 – 9 предметами. Наиболее свободно и легко воспринимаются три связи.

Отсюда вытекает **второе правило**. При подборе учебного материала, предназначенного для запоминания учитывайте требования закона кратковременной памяти.

*Уча других, также учишься.*

Н.В. Гоголь

## Тезаурус

Знания человека структурно можно представить как систему понятий и их взаимосвязей. Иерархическую структуру понятий и отношений между ними называют тезаурусом. Тезаурус – это языковой словарь человека. У каждого человека есть свой запас слов, свой тезаурус. Тезаурус – это основа знаний человека, а обучение – процесс увеличения тезауруса.

Структурно тезаурус можно представить как систему кубиков понятий, пронизанных взаимными связями. Слушая лекцию или читая книгу, обучающийся все понимает и может пересказать услышанное (прочитанное) своими словами, если встречающиеся понятия ему известны, известны и их взаимосвязи между собой. Но вот встретилось новое неизвестное смысловое понятие, неизвестно также, каким образом оно должно быть взаимосвязано с другими понятиями.

Смысловое содержание этого нового понятия может пояснить преподаватель или можно найти в справочнике. Однако, обучающийся затрудняется самостоятельно построить предложение с этим новым понятием. Новое понятие не воспроизводится в сознании человека даже тогда, когда в нем возникает необходимость. Необходимо время, упражнения, тренировки для установления взаимосвязей нового понятия со старыми.

После того, как в результате тренировок затруднения в применении нового понятия преодолены и новое понятие воспроизводится в любых условиях, говорят, что тезаурус обучающегося увеличился на одно понятие.

Из сказанного следует **третье правило**. Излагаемый материал давайте малыми порциями. Объем одного параграфа должен быть не более одной страницы текста. В двух часовой лекции следите, чтобы объем новых понятий не превышал  $7 \pm 2$  понятий.

После этого следует провести практические занятия по закреплению связей новых понятий со старыми. В учебном издании для этого должны быть приведены контрольные вопросы и задания. Следует обратить внимание обучающихся на важность выполнения упражнений, показать, что без этого дальше читать книгу нельзя.

*Говорят, Ландау в студенческие годы составил классификацию зануд. К первому классу причислил “гнусов” – грубиянов, драчунов, скандалистов, ко второму классу – “моралиников” (выделяют продукт морали – моралин), к третьему – “постников” (отличаются недовольным, постным выражением лица), к четвертому – “обидчивых” всегда на кого-нибудь в обиде.*

### Методическая обработка материала

Учебная книга – это особый вид издания, предназначенный для реализации учебного процесса. Учебное издание служит для обучения, а поэтому к нему предъявляются особые требования. Огромный научный материал, который планируется отразить в книге, предварительно методически обрабатывается: систематизируется, классифицируется и сводится к минимуму так, чтобы учебный текст был удобен для понимания и запоминания. Классификация помогает отобрать самую важную информацию, а систематизация способствует из разрозненных фактов, помещенных в различных источниках информации, составить представление о проблеме в целом.

Задачей учебной книги должно быть раскрытие и ориентирование обучающихся на овладение методами науки. Достигается это путем использования различных методов при доказательствах. Увидев путь, которым доказывается некоторая закономерность, обучающийся сможет уже сам использовать такой метод в других доказательствах. Так производится обучение методу научного познания.

Задача учебной книги состоит не в том, чтобы сделать человека умнее, а в том, чтобы сделать его культурнее, облагородив методами научного знания.

Обучение должно вестись через проблемы, через создание проблемных ситуаций. Проблемная ситуация разрешается через доказательства, а в доказательствах используются различные научные методы. Обучающийся учится мыслить научно, творчески. Знания, полученные при проблемном методе, забываются медленнее.

Система науки и система образования – два взаимосвязанных но разных явления. Назначение науки – добывать знания, а главная функция образования – освоение знаний, формирование способности применять знания.

Для того, чтобы войти в содержание образования, результаты научных изысканий должны быть педагогически переработаны, преобразованы в педагогическую систему. Инструментом педагогики является методика.

Стремясь повысить научный уровень учебной дисциплины, преподаватель иногда старается включить в нее побольше научной информации, практических сведений. Эти сведения нужны специалисту, однако, они совсем не нужны для целей образования. Для процесса образования важно установить взаимосвязь между деятельностью педагога, владеющего методикой, и деятельностью учащегося, стремящегося с наименьшими затратами понять и запомнить изучаемый материал. После методической

обработки научной информации такая взаимосвязь может быть установлена, и тогда процесс образования сможет выполнять свои главные функции: образовательную, развивающую и воспитательную.

Излагая учебный материал, преподаватель приводит историческую справку о развитии учебной дисциплины, указывает основоположников. Это позволяет осознать, что изучаемая дисциплина – это наука, которая открывает новые знания, развивается, совершенствуется, находит применение в практической деятельности людей. Открытые наукой знания становятся составной частью культуры общества, входят в мировоззрение людей.

Вводя учащихся в целостный мир культуры, обеспечивая его усвоение поколениями людей, учебные дисциплины всей своей совокупностью и каждая в отдельности формируют и утверждают систему ценностей общества.

Из сказанного следует **четвертое правило**. Весь научный материал, помещаемый в книгу, старайтесь методически переработать так, чтобы его можно было легко понять и запомнить. Больше внимания уделяйте не фактам, а методам науки.

## Структура учебной книги

Структура – это схема расположения взаимосвязанных тем произведения с четким проявлением связей и взаимодействий между ними (рисунок 1).

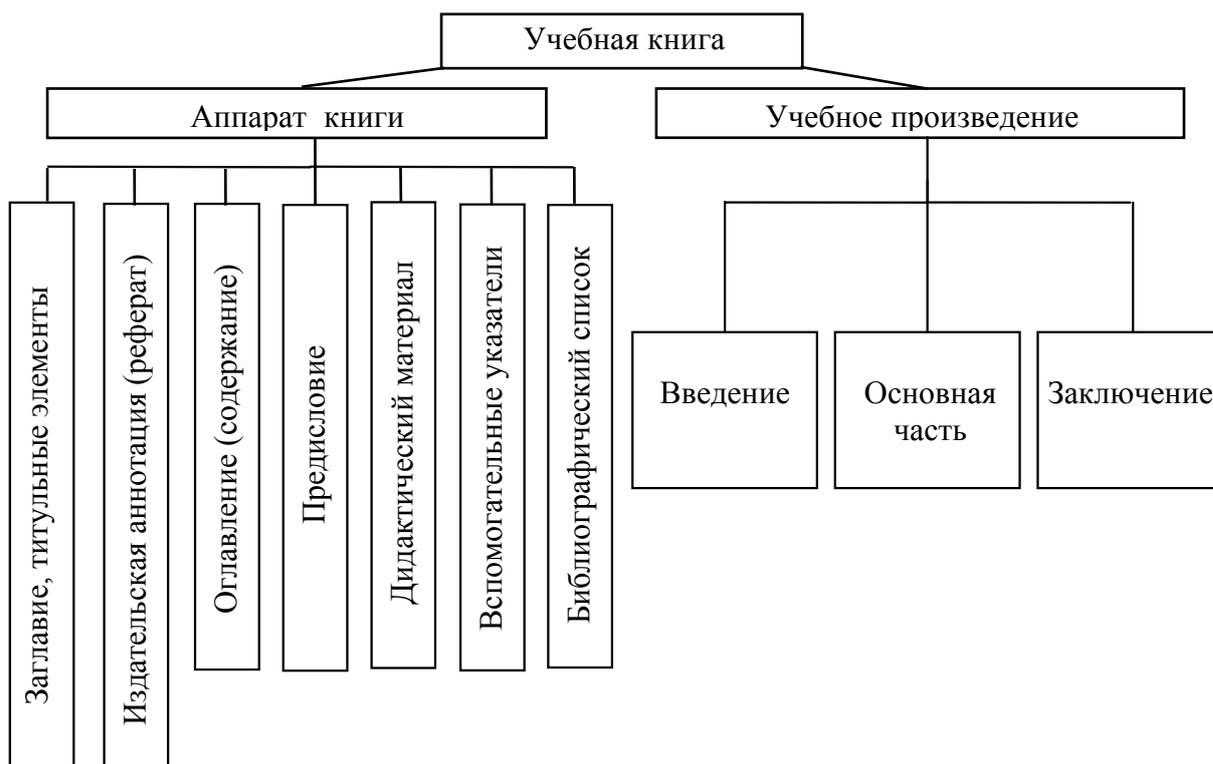


Рисунок 1 – Структура учебной книги

Структура характеризуется строгим, установленным автором, порядком размещения учебного материала. Она создается автором на основе материала, подготовленного для написания книги, к работе над которой автор приступает. Построение

структуры начинается с определения цели книги и главной темы, характеризующей цель. Темы определяются рубриками и заголовками.

Структура учебной книги рассматривается системно. В общем виде она состоит из двух подсистем – структуры аппарата книги и структуры авторского текста (рисунков 1). Каждый элемент аппарата книги имеет свою структуру, которая часто регламентирована ГОСТами. Структура авторского текста отражена частично в оглавлении.

Качество учебной книги в значительной степени зависит от того, насколько полно и удачно использованы все элементы структуры издания.

**Пятое правило.** Для учебной книги любого объема максимально полно используйте все элементы структуры издания.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Глебов И.Т. Учебное издание: характеристика и подготовка рукописи. – Екатеринбург, УГЛТУ, 2002. – 91 с.
2. Павлова М.А. Интенсивный курс повышения грамотности на основе НЛП. – М.: Совершенство, 1997. – 224 с.

## **ОБУЧЕНИЕ СТУДЕНТОВ СОВРЕМЕННЫМ МЕТОДАМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ**

*Поротникова С.А. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)*

### **Training of students to modern methods of designing of constructions out of wood**

В современных условиях огромное значение придается информационным технологиям, среди которых особое место занимает автоматизация проектирования. Первые программы для автоматизации проектирования появились как за рубежом, так и в нашей стране в начале 60-х годов 20 столетия. В своем развитии автоматизированное проектирование прошло путь от решения отдельных инженерных задач на ЭВМ до интегрированных комплексов, ориентированных на создание технических объектов, начиная с технического задания на них, до их утилизации. Автоматизация проектирования, являясь синтетической наукой, включает в себя многие современные технологии.

Техническое обеспечение систем автоматизированного проектирования (САПР) основано на использовании вычислительных сетей и телекоммуникационных технологий; математическое обеспечение САПР отличается богатством и разнообразием используемых методов вычислительной математики, статистики, математического программирования и т.д. Знание основ автоматизированного проектирования и умение работать со средствами САПР требуется практически любому инженеру-разработчику. Предприятия, ведущие разработки без использования средств автоматизации проектирования оказываются неконкурентоспособными вследствие как больших материальных и временных затрат, так и невысокого качества предлагаемых проектов.

Несмотря на то, что в настоящее время создано большое число программно-методических комплексов для САПР с различной степенью специализации и прикладной ориентации, графический пакет AutoCAD, как одно из средств автоматизирован-

ного проектирования, и сегодня является наиболее востребованным на предприятиях в результате удобства и универсальности его использования и широких возможностей при оформлении технической документации. Автоматизация проектирования - необходимая составная часть подготовки инженеров разных специальностей, в том числе и технологов деревообработки. Кроме того, хорошее владение студентами средствами автоматизированного проектирования значительно ускоряет оформление работ, экономит время и облегчая процесс обучения в целом, а также позволяет будущим специалистам быть востребованными на рынке труда.

За время обучения в нашем вузе студенты знакомятся со многими информационными технологиями; прикладными программами, используемыми в экономических и технологических расчетах; средствами САПР, используемыми при проектировании изделий и конструкций. Большое внимание уделяется ознакомлению студентов с графическим пакетом AutoCAD. Впервые с этим пакетом встречаются второкурсники, изучая дисциплину «Машинная графика». На четвертом и пятом курсах студенты факультета механической технологии древесины изучают дисциплину «Основы автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов», где базовым графическим пакетом также является AutoCAD.

Любая учебная дисциплина имеет свою форму и содержание. По форме изложения «Основы автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов» мало отличаются от других учебных дисциплин: это лекции в объеме двадцати часов, и лабораторные работы, также в объеме двадцати часов. В содержание дисциплины входит закрепление знаний по оформлению двумерных чертежей, создание схем технологических процессов на базе использования заранее созданных примитивов (линий, станков, оборудования, приспособлений); моделирование трехмерных объектов деревообработки и создание по трехмерным моделям сборочных и рабочих чертежей с формированием листов необходимого формата; овладение умением оформлять текстовые документы, насыщенные схемами, таблицами и чертежами, то есть осуществлять связь графического пакета AutoCAD и текстового - Microsoft Word.

Процесс обучения включает три обязательных аспекта:

- системность обучения;
- развитое методическое обеспечение;
- наличие рациональной методики преподавания.

Системность обучения обеспечивается планомерным развитием знаний и умений от курса к курсу, от простого к сложному. Наибольшая нагрузка приходится на четвертый и пятый годы обучения, где студенты выполняют курсовой проект по названной дисциплине, а затем завершающую выпускную квалификационную работу.

Методическое обеспечение включает класс ПЭВМ, подготовленные лабораторные работы по количеству учебных плановых часов, наличие плакатов по изучаемой дисциплине, обучающую программу, необходимое число методических указаний для проведения занятий, индивидуальные задания, зачетные и экзаменационные билеты.

Преподавание базируется на стандартных методических приемах: опрос в виде устных ответов, программированный контроль и контрольные работы с выявлением знаний по пройденному материалу; выдача нового материала и закрепление его при выполнении общих и индивидуальных заданий.

Особенностью и новизной преподавания можно считать разработанные индивидуальные задания и методику выполнения отдельных приемов черчения и моделирования трехмерных объектов сложных геометрических форм, а также последовательность предложения нового материала.

Учебная дисциплина «Основы автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов» охватывает два больших блока в пакете AutoCAD: разработку двумерного чертежа и создание трехмерной твердотельной модели с одновременным выполнением по ней двумерных изображений с формированием листа определенного формата для вывода чертежей на плоттер.

В курсе закрепляются приемы классической двумерной графики при создании примитивов (рисунок 1), применяемых в разработке схем технологических процессов деревообработки и создании чертежей цехов по направлениям выпускающих кафедр (рисунок 2).

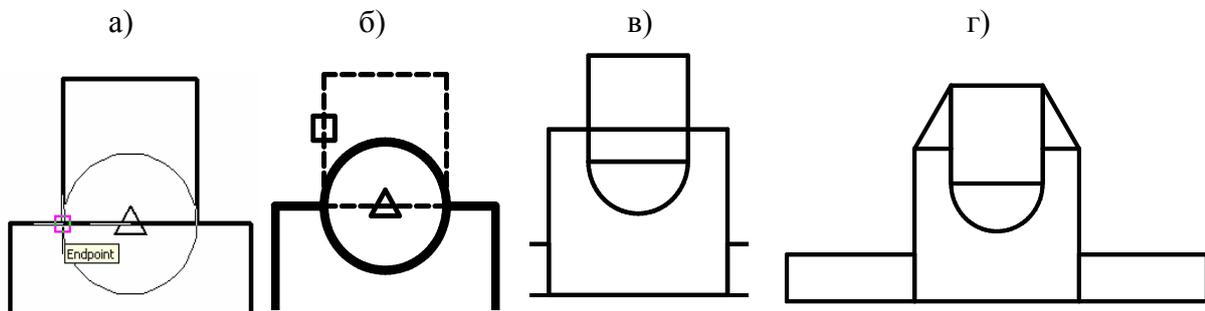


Рисунок 1 – Разработка схемы вертикально-сверлильного станка СВА:  
а, б, в – последовательность выполнения схемы станка командами  
двумерной графики; г – условное обозначение станка

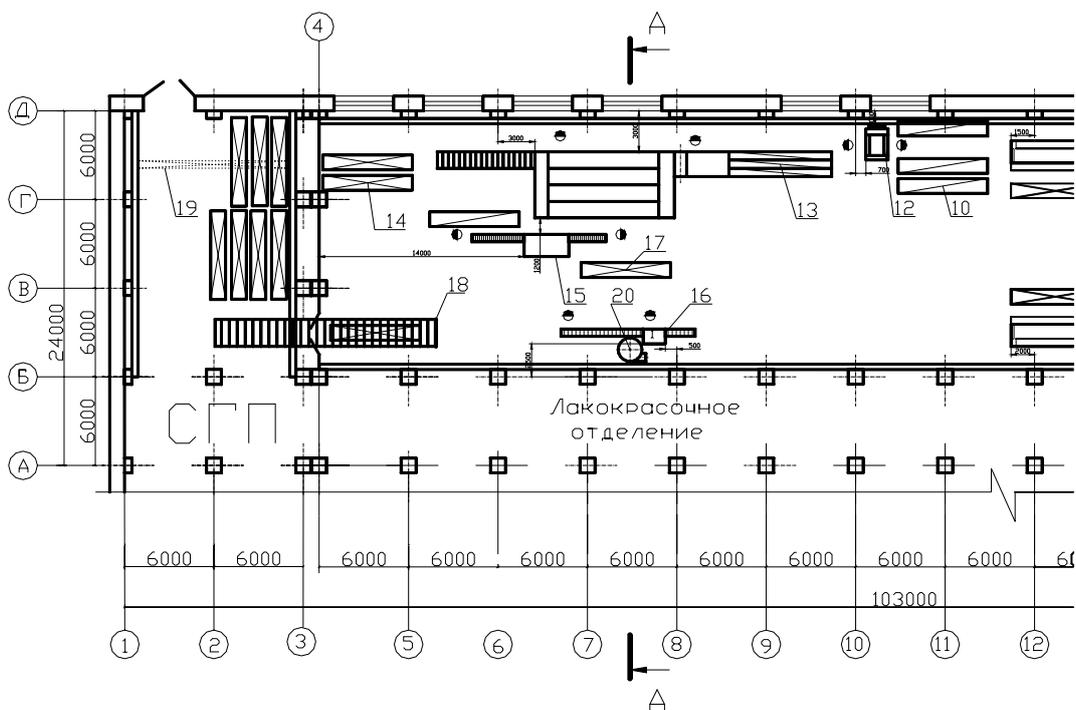


Рисунок 2 – Часть плана цеха по производству клееного бруса

При выполнении технологических схем деревообрабатывающих цехов, студенты не только разрабатывают схему изготовления определенного изделия, но и знакомятся с основами строительного черчения (изображение планов, разрезов, обозначение выносных элементов, прорановка размеров и уровней, как показано на рисунке 3.

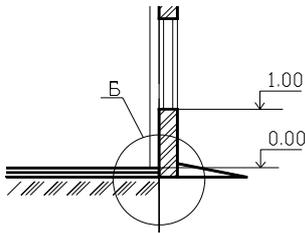


Рисунок 3 – Обозначение выносных элементов и уровней

Умение одновременно работать в текстовых и графических программах, приводит к созданию не только грамотного, но и эстетически привлекательного продукта (рисунок 4.), что важно в условиях современной рыночной экономики.

**Рисунг 4 – Расчет балясины на устойчивость и ее рабочие чертежи**

Рисунг 4 представляет собой комплексный чертеж балясины. Включает в себя:

- 3D-модель балясины.
- Сторонний вид с размерами: 90, 75, 26x75=1950, 2000±0, 140, 35, 46.
- Сечение А-А с радиусом R44.
- Таблицу с техническими характеристиками.
- Титульный блок с названием "СТОЙКА" и масштабом 1:5.

**Таблица технических характеристик (из рисунка 4):**

№	Наименование	Значение
1	Материал	Дерево
2	Сечение	26x75
3	Длина	1950
4	Высота	90
5	Радиус	R44

**Титульный блок (из рисунка 4):**

ДП 05.01.00.00	
СТОЙКА	1:5
УТВ. ИЛ.СЗ	ИЛ.СЗ
ИЛ.СЗ	ИЛ.СЗ

Рисунок 4 – Расчет балясины на устойчивость и ее рабочие чертежи

В целях более эффективного обучения студентов автоматизированному проектированию хотелось бы предложить увеличить число часов на проведение лабораторных работ и оснастить лекционные аудитории более современным оборудованием, позволяющим показывать работу графических программ в действии.

**ПРОИЗВОДСТВО ЧЕРТЕЖА В СРЕДЕ AutoCAD  
(ОПЫТ РАБОТЫ СО СТУДЕНТАМИ ВЕДУЩИХ  
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ)**

**Черемных Н.Н., Тимофеева Л.Г., Рогожникова И.Т.**

*(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)*

***DRAFT PRODUCING IN AutoCAD ENVIRONMENT  
(THE EXPERIENCE OF STUDIES WITH THE STUDENTS  
OF MAIN FORESTRY ENGINEERING SPECIALTIES)***

Инновационная деятельность в ВУЗах, заметно активизировавшаяся в последние годы, включает, как правило, современные учебные, учебно-методические и научные разработки кафедр. Здесь следует выделить инновации в области фундаментального образования, являющегося теоретической основой одновременно по нескольким учебным направлениям. Это, в техническом ВУЗе относится, в частности, к фундаментальной графической подготовке, которая с повсеместным внедрением новых компьютерных технологий служит совершенствованию междисциплинарных связей перед «передачей» студента на курсовое проектирование по теории механизмов и машин, по деталям машин, по грузоподъемным машинам.

Напомним, что вузовская инноватика трактуется как междисциплинарная методология, когда инженерно-графическая дисциплина, сохраняя свою самостоятельность (чертеж - язык инженера, а начертательная геометрия – грамматика этого языка), не сводятся одна к другой, а их данные и теоретические настроения объединяются в целях их практической эффективности. В фундаментальном графическом образовании взаимное использование знаний начертательной геометрии, инженерной графики и компьютерной (машинной) графики является естественным. Намерение Минобрнауки РФ и дальше приближать образование к потребителю, озвученное на итоговой (декабрьской) коллегии 2004 года находит практическую реализацию в деятельности нашей кафедры.

Так учебное пособие с грифом УМО «Основы начертательной геометрии. Элементы теории с тестовыми заданиями» получило одобрение кафедры «Прикладная геометрия» МАИ-ГТУ, а учебное пособие «Основы компьютерной инженерной графики на базе системы автоматизированного проектирования AutoCAD», имеет гриф УМО и НМС Минобрнауки РФ. В частности, в последнем в качестве одного из заданий приведены 24 кинематические схемы приводов лесотранспортных машин.

Следует справедливо отметить, что активизацию научно-методической работы на нашей кафедре мы связываем с участием в ежегодных Всероссийских совещаниях по инженерно-графическим дисциплинам (Саратов - 2004, Пермь – 2005, Казань -2006).

Графическая система AutoCAD – одна из основных инструментов разработок конструкторской и проектной документации. Однако, для создания чертежей сборочных узлов по 3D технологии удобна и многофункциональна графическая система Solid Works.

При этом важно отметить возможность выполнять взаимный импорт и экспорт файлов систем AutoCAD и Solid Works. Так программа-переводчик DWGEditor систе-

мы Solid Works позволяет открывать, редактировать файлы .dwg и .dxf и сохранять их в исходном формате. Вставлять файлы .dwg и .dxf можно непосредственно в текущий документ чертежа или детали Solid Works, используя инструмент **Вставка, DXF/DWG**. Элемент меню активирует диалоговое окно **Импорт DXF/DWG**, в котором имеются простые параметры, помогающие вставить эти файлы. Необходимо знать, что программа-переводчик DWGEditor экспортирует в систему AutoCAD документы чертежей Solid Works как файлы .dwg и .dxf.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОЛЯРНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДАМИ 3-D ТЕХНОЛОГИЙ В КУРСЕ МАШИННОЙ ГРАФИКИ

Арефьева О.Ю., Тимофеева Л.Г. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

### JOINER MANUFACTURES MODELING BY MEANS OF 3-D TECHNOLOGY IN THE COURSE OF COMPUTER GRAPHICS

Под геометрическим моделированием понимают создание моделей геометрических объектов (ГО), содержащих информацию о геометрии объекта. Под моделью ГО следует понимать совокупность сведений, однозначно определяющих его форму.

Согласно 3D – технологии, сначала создается пространственная геометрическая модель детали. Затем по модели строится чертеж, в автоматическом режиме получают проекции модели – необходимые виды, разрезы, сечения.

Изучение методов 3D технологии позволяет отойти от стандартной схемы проектирования, а процесс создания чертежа сделать автоматическим.

Переход к новым информационным технологиям с использованием систем автоматизации разработки и выполнения конструкторской и проектной документации, удовлетворяющих стандартам ЕСКД, требует обучения студентов методам компьютерной графики как нового инструмента выполнения чертежей.

Моделирование столярных изделий (окна, двери) значительно упрощается с помощью 3D – технологий AutoCADa.

Для построения оконной коробки необходимо создать профиль (рисунок 1), траекторию (рисунок 2), установить профиль относительно траектории и командой Extrude (выдавить) его по этой траектории. Необходимо продумать соединение деталей между собой, поэтому в вертикальных брусках вырезают - пазы, а в горизонтальных - шипы (рисунок 3).

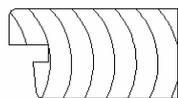


Рисунок 1



Рисунок 2

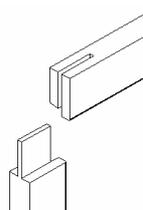


Рисунок 3

На рисунке 4 показаны наглядное изображение оконной коробки и ее ортогональные проекции.

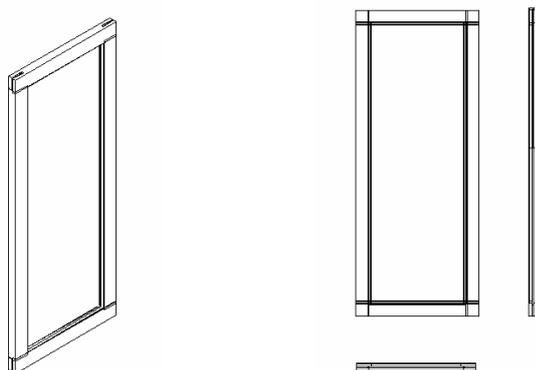


Рисунок 4

Таким образом, использование систем автоматизированного проектирования значительно упрощает создание графических документов и сокращает сроки разработки проектных решений.

Полученные знания пригодятся в дальнейшей, профессиональной деятельности будущих инженеров и позволят быть востребованными на рынке труда.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОБЪЕМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ AutoCAD ПРИ ИЗУЧЕНИИ КУРСА КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ СТУДЕНТАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ, СВЯЗАННЫХ С ДЕРЕВООБРАБОТКОЙ**

**Черемных Н.Н., Арефьева О.Ю., Тимофеева Л.Г.**

*(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)*

### **USING OF AutoCAD VOLUMETRIC TECHNOLOGIES IN THE COURSE OF COMPUTER GRAPHICS FOR STUDENT OF WOODWORKING SPECIALTIES**

Современная методика обучения студентов МТД инженерным специальностям строится на новых технологиях конструирования, в которых центральное место занимает компьютерная графика. Использование компьютерных технологий является обязательным условием современного процесса обучения. Мировое признание и лидерство среди графических систем автоматизированного проектирования (САПР) принадлежит системе AutoCAD.

В процессе изучения курса «Начертательная геометрия» студенты, выполняющие графические работы по темам: построение проекций тел с вырезом, пересечение поверхностей, задачи решают «вручную» с использованием карандаша, линейки, циркуля, что позволяет понять методы решения, освоить навыки черчения и развить пространственное мышление. Применение пакета AutoCAD дает возможность изучить начертательную геометрию на более высоком уровне, повышающем точность построения. Для решения ряда задач применяется раздел AutoCAD объемная графика.

Процесс создания трехмерной модели детали можно разделить на 4 этапа:

- мысленное разбиение формы детали на простейшие трехмерные примитивы (цилиндры, конусы, и т.д.);
- последовательное построение этих примитивов;
- выполнение логических операций над примитивами (объединение, вычитание, пересечение);
- выполнение сопряжений, снятие фасок;

При формировании модели следует учесть последовательность выполнения логических операций:

- объединить внешние поверхности детали;
- объединить внутренние поверхности;
- из объединения тел, образующих внешнюю поверхность, вычитается объединение тел, составляющих полости, отверстия, углубления и т.п.

Кроме того, создав трехмерную пространственную модель поверхности, можно получить чертеж с тремя ортогональными проекциями (виды – главный, сверху, слева) и изометрией поверхности.

Построение разверток имеет большое значение для тех видов производства, продукция которых изготавливается из листового материала. На кафедре начертательной геометрии разработаны варианты заданий по построению разверток технических форм, бункеров и циклонов пневмотранспортных систем, приемников станков, напольных отсосов-сметок, оградительных устройств, вращающихся рабочих органов (пил, фрез, ножевых валов). На первом этапе этой графической работы создается пространственная модель устройства. Эта модель позволяет наглядно представить форму объекта, как совокупность простых геометрических элементов, каждый из которых может быть построен как solid – элемент. Затем выполняются развертки боковых поверхностей модели.

На рисунке 1 показаны примеры моделей технических форм приемника деревообрабатывающего станка и циклона (марки ОЭКДМ) пневмотранспорта.

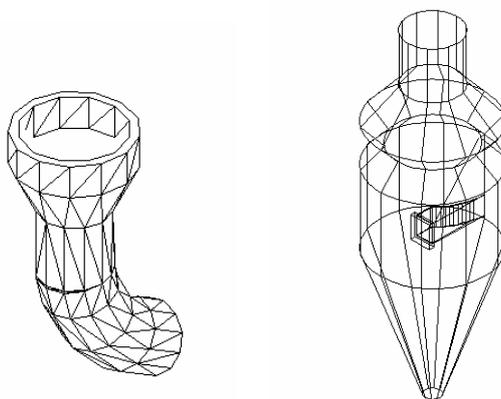


Рисунок 1

Изучив методы построения объемных поверхностей, и взаимодействия их друг с другом, студенты переходят к более сложному геометрическому моделированию (проектированию сложных твердотельных поверхностей).

Сочетание дисциплин «Начертательная геометрия», «Машиностроительное черчение» и «Машинная графика» дает наиболее существенные результаты совершенство-

вания графической подготовки студентов и способствует развитию абстрактного и логического мышления.

## **ОСОБЕННОСТИ ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННЫМ ЯЗЫКАМ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРОВ-ТЕХНОЛОГОВ**

**Синегубова Е.С.** (УГЛТУ, г.Екатеринбург, РФ),

**Грищенко М.А.** (УрГПУ, г.Екатеринбург, РФ)

## **SPECIFIC FEATURES OF TEACHING THE FOREIGN LANGUAGES TRAINING PRODUCTION ENGINEERS AT TECHNICAL UNIVERSITIES**

Обучение иностранным языкам в технических ВУЗах имеет ряд особенностей. Студенты 1-х курсов объективно имеют неодинаковый уровень знаний школьной программы по различным причинам. Студентам трудно дается даже чтение и перевод простых иностранных текстов, а также разговорная речь по школьным темам. Чаще всего студенты переводят тексты дословно без соблюдения правил грамматики иностранных языков. Такой перевод может исказить смысл текстов, особенно технических. Поэтому студентам технических ВУЗов требуется форсированное преподавание одновременно всех разделов языка – фонетики, лексики, грамматики. Больших усилий требует также **освоение** навыков аудирования на различные темы. Существует также проблема в количестве обучающихся в одной языковой группе. В группах, изучающих английский язык, количество студентов бывает необоснованно большим – 18-20 человек.

Изучение технических текстов, их грамотный перевод на 2 курсе неподготовленным студентам дается с большим трудом, требует знания не только языковых конструкций, специальной лексики, но также знание общих технических вопросов и изучаемой технологии с которыми студенты практически незнакомы в начале 2 курса.

Английский язык является универсальным, так как большинство иностранных технических журналов, публикации с международных конференций, аннотации к статьям, документация на технологическое оборудование и другие материалы издаются на английском языке. Работа с компьютерными программами, диалог с компьютером, диалог с техническими специалистами представителями других стран чаще всего происходит на английском языке.

Поэтому необходимо расширять спектр изучения иностранных языков для инженеров-технологов и обучать грамотному владению языками.

Знание иностранных языков позволит инженерам-технологам изучать и правильно понимать оригинальную научно-техническую литературу по своей специальности, свободно общаться со специалистами из других стран, повысить общий культурный уровень выпускников ВУЗа и повысить их конкурентоспособность при распределении на работу.

Teaching a foreign language at a technical university has the whole range of specific features. First-year students objectively have different level of knowledge of standard school programme. This phenomenon can be caused by different reasons.

It is extremely difficult for a certain number of students to read, to translate simple texts in a foreign language and to give their reports on standard school topics. More frequently students translate texts literally avoiding the rules of grammar of a foreign language. The above-mentioned translation can distort the meaning of such texts, especially, those devoted to certain technical problems.

That is the main reason why a forced teaching of a language is required for students of technical universities. Such kind of teaching should include simultaneously detailed studying of all the spheres of language, such as, phonetics, vocabulary, grammar. Hard efforts are usually applied mastering the listening skills on different actual topics.

The problem of “overcrowded” groups exists-the number of students studying a language in one group may exceed 18-20 people. Such a quantity is considered to be inexplicably great.

Studying of technical texts, their competent and correct translation for the second-year students, whose level of knowledge is not enough to be admitted as elementary, requires many efforts: students should be able to know either language grammatical constructions, special vocabulary or knowledge of common technical cases and studied technology, which, certainly, is impossible for the second-year students, especially, for those who have just finished the first-year general course.

The English language is a universal way of communication, because most of international technical journals, publications from international technical conferences, annotations to articles, technical documentation and other materials are generally published in English. Working with computer programmes, communication with technical experts, representatives of foreign countries large production companies is usually carried on speaking English.

That is why it is necessary to broaden the horizons of studying a foreign language for production engineers and to teach them to master a language properly.

Knowledge of foreign languages will permit future production engineers to study and understand scientific and technical literature devoted to problems linked with their specialty, to communicate rather fluently and deliberately with experts from other countries, to improve general intellectual level of graduates of technical universities and to raise their competitive capacity assigning them to vacant posts.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Новоселов В.Г.</b> К участникам симпозиума .....	3
<b>Проблемы взаимоотношений предпринимателей с властью и менеджмента предприятий</b>	
<b>Мехренцев А.В.</b> Состояние и перспективы деревообрабатывающего производства в Свердловской области.....	4
<b>Константинова А.П.</b> Рынок одной специальности.....	12
<b>Шаевич А.Б.</b> Добровольная сертификация продукции деревообрабатывающих предприятий и смежных отраслей – содействие конкурентоспособности .....	14
<b>Зобнина В.С., Терин А.А.</b> Опыт применения ленточнопильного оборудования в “малом” лесопилении .....	18
<b>Новые технологические решения в деревообработке и отделке</b>	
<b>Чамеев В.В., Гаева Е.В., Харисов П.Е.</b> Сортосостав круглых лесоматериалов и выход пиломатериалов и заготовок общего назначения .....	23
<b>Иванов В.В.</b> Влияние раскряжевки дерева у пня на сохранность компонентов леса .....	28
<b>Сазонова Е.А.</b> Анализ технологических процессов на основе теории графов .....	30
<b>Уласовец В. Г.</b> Объем сбеговой зоны бревен .....	36
<b>Уласовец В. Г.</b> Размеры досок, выпиливаемых параллельно продольной оси бревен .....	39
<b>Беленков Д.А., Левинский Ю.Б., Стенина Е.И.</b> Особенности пропитки древесины антисептиком УЛТАН .....	45
<b>Беленков Д.А., Левинский Ю.Б., Стенина Е.И.</b> Изучение свойств древесины, пропитанной антисептиком УЛТАН .....	49
<b>Левинский Ю.Б., Левинская Г.Н., Агафонова Р.И., Савина В.В., Волегова Н.В.</b> Рациональная переработка пиловочного сырья на заготовки для производства клееных материалов строительного назначения .....	53
<b>Левинский Ю.Б., Агафонова Р.И.</b> Теоретическое обоснование структуры комбинированных клееных балок .....	57
<b>Левинский Ю.Б., Волегова Н.В., Омигов С.А., Медведев А.В.</b> Совершенствование конструкций и технологии в индустриальном производстве каркасных деревянных строений .....	59
<b>Левинский Ю. Б., Омигов С. А.</b> Повышение уровня монтажной готовности модульных жилых строений быстрого развертывания.....	66
<b>Левинский Ю.Б., Савина В.В.</b> Повышение качества строительной огнезащитной фанеры на основе осинового и березового шпона.....	69
<b>Газеев М.В., Путнева Ю.В., Жданова И.В.</b> Свойства водных лакокрасочных материалов для древесины и покрытий на их основе .....	73
<b>Шишкина С.Б., Ветошкин Ю.И., Говоров Г.Г.</b> Лакокрасочные композиции с защитными свойствами от рентгеновского излучения .....	76
<b>Коновалова Ю.М.</b> Производство тепловой и электрической энергии из древесных отходов на лесозаготовительных предприятиях.....	80
<b>Коркин Е.С.</b> Расчет возможного выхода объемов пиломатериалов при известной таксационной характеристике насаждений .....	83

<b>Побединский В.В., Берстенов А.В., Шуняев С.Н.</b> Моделирование процесса окорки лесоматериалов на основе теории нечетких множеств .....	90
<b>Новоселов В.Г.</b> Надежность технологических систем в деревообработке .....	98
<b>Новоселов В.Г.</b> Устойчивость функционирования технологических систем в деревообработке .....	103
<b>Новоселов В.Г., Полякова Т.В.</b> Теоретическое исследование надежности технологической системы деревообработки по параметру качества продукции «точность» .....	108
<b>Синегубова Е.С., Григоров И.Г.</b> Физические методы исследования структуры дисперсных и композиционных материалов на основе полимеров .....	114
<b>Савельев В.В., Паршуков Н.Н.</b> Перспективы разработки клеевых систем для массивной древесины.....	115
<b>Новоселов В.Г., Рогожникова И.Т.</b> Теоретическое исследование надежности технологической системы деревообработки по параметру качества продукции «шероховатость поверхности».....	117

### Прогрессивное оборудование и инструмент

<b>Воробьева Е.В.</b> Выбор головного технологического оборудования для производства пилопродукции из тонкомерно-короткомерного сырья .....	123
<b>Адилов С. Г.</b> Особенности конструкции пильной рамки ультразвуковой лесопильной рамы .....	125
<b>Гордеев В. Ф., Адилов С. Г.</b> Особенности геометрии режущего инструмента при ультразвуковом пилении древесины .....	133
<b>Пашков В.К., Щепочкин С.В.</b> О конвективном теплообмене режущей части пилы при резании .....	138
<b>Щепочкин С.В.</b> Об оценке температуры резания при пилении круглыми пилами .....	143
<b>Сулинов В.И., Гороховский А.К.</b> Возможные направления модернизации круглопильных прирезных станков .....	146
<b>Глебов И.Т., Глебов В.В.</b> Проектирование современной аспирационной системы деревообрабатывающего цеха .....	148
<b>Глебов И.Т.</b> Расчет режимов цилиндрического фрезерования .....	151
<b>Глебов И.Т.</b> Расчет режимов полузакрытого и закрытого фрезерования древесины .....	159
<b>Глебов И.Т.</b> Фрезерование радиусных поверхностей .....	162
<b>Глебов И.Т.</b> Определение шероховатости фрезерованной поверхности по радиусам лезвий .....	165
<b>Берстенов А.В., Побединский В.В.</b> Синтез математической модели гидропривода механизма резания роторного окорочного станка в системе MatLab .....	170
<b>Берстенов А.В., Побединский В.В.</b> Математическая модель гидропривода рабочего органа роторного окорочного станка .....	177
<b>Побединский В.В., Берстенов А.В., Шуняев С.Н.</b> Моделирование рабочих процессов роторного окорочного станка в среде MatLab.....	182
<b>Кузнецов А.И., Новоселов В.Г.</b> Моделирование механизма резания лесопильных рам с параллельными силовыми потоками и синхронизирующим элементом .....	188
<b>Раевская Л. Т.</b> Динамическое моделирование напряженно-деформированного состояния элементов аксиально-поршневых пневмомоторов .....	193

<b>Гришкевич А.А., Аникеенко А.Ф.</b> Экспериментальная установка для исследования процесса фрезерования древесины и древесных материалов .....	200
<b>Лялько А.А., Фридрих А.П., Кузьмицкий И.Ф.</b> Моделирование процессов деревообработки в условиях неопределенности параметров системы станок – приспособление – инструмент – деталь .....	206
<b>Раповец В.В., Бурносов Н. В.</b> Определение влияющих на силовые показатели основных параметров процесса резания на фрезерно-брусующих станках .....	211
<b>Соколов Е.В., Анкудинов Д.Т.</b> Моделирование течения жидкости в центробежных насосах .....	217
<b>Сергеевичев А.В.</b> Особенности оцилиндровки бревен точением.....	221
<b>Сергеевичев А.В.</b> Исследование хрупкой прочности режущей части резцов ножевой головки роторного оцилиндровочного станка позиционного типа.....	223

### Проблемы безопасности и экологии в деревообработке

<b>Черемных Н.Н.</b> Шум в лесопильно-деревообрабатывающих производствах в России: от теории и экспериментов – к нуждам промышленности .....	229
<b>Резинских З.Г., Горбатенко Ю.А., Первова И.Г., Липунов И.Н.</b> Новые катализаторы для обезвреживания токсичных сточных вод.....	231
<b>Побединский В.В., Шуняев С.Н.</b> Защита древесины в кровельных конструкциях от биологического повреждения .....	233
<b>Шуняев С.Н., Побединский В.В., Рычков В.Г.</b> Применение кровельных и гидроизоляционных материалов на антисептированной основе .....	239

### Проблемы профессионального образования и инжиниринга в деревообработке

<b>Тракало Ю.И., Чернышев О.Н., Ветошкин Ю.И.</b> Профилизация инженеров – технологов в области дизайна мебели .....	245
<b>Глебов И.Т.</b> Некоторые рекомендации для подготовки материала лекции и учебного издания .....	248
<b>Поротникова С.А.</b> Обучение студентов современным методам проектирования конструкций из древесины .....	252
<b>Черемных Н.Н., Тимофеева Л.Г., Рогожникова И.Т.</b> Производство чертежа в среде <i>AutoCAD</i> (опыт работы со студентами ведущих лесотехнических специальностей) .....	256
<b>Арефьева О.Ю., Тимофеева Л.Г.</b> Моделирование столярных изделий методами 3-D технологий в курсе машинной графики .....	257
<b>Черемных Н.Н., Арефьева О.Ю., Тимофеева Л.Г.</b> Применение объемных технологий <i>AutoCAD</i> при изучении курса компьютерной графики студентами специальностей, связанных с деревообработкой .....	258
<b>Синегубова Е.С., Грищенко М.А.</b> Особенности обучения иностранным языкам при подготовке инженеров-технологов .....	260
Содержание .....	262

**THE MAINTENANCE**

<b>Novoselov V.G.</b> To participants of a symposium .....	3
<i>Problems of mutual relations of businessmen with authority and management of the enterprises</i>	
<b>Mehrentsev A.V.</b> Condition and prospects of woodworking industry In Sverdlovsk's region.....	4
<b>Konstantinova A.P.</b> The market of one speciality .....	12
<b>Shayevich A.B.</b> Voluntary certification of the timber industry and of related industries enterprises production – assistance to the competition ability .....	14
<b>Zobnina V.S., Terin A.A.</b> Experience of the using band-saw equipment in “small” sawmill .....	18
<i>New technological decisions in woodworking and furnish</i>	
<b>Chameev V.V., Gaeva E.V., Harisov P.E.</b> High-quality structure of round forest products and output of saw-timbers and preparations of the general purpose .....	23
<b>Ivanov V.V.</b> The influence cutting of the tree at a stump on safety of forest components .....	28
<b>Sazonov E.A.</b> The analyse technological processes on the basis teori of graf .....	30
<b>Ulasovets V.G.</b> Volume of a side zone of logs .....	36
<b>Ulasovets V.G.</b> The sizes of boards cut in bridge of a direct axis of logs.....	39
<b>Belenkov D.A., Levinskij J.B., Stenina E.I.</b> Feature of impregnation of wood by antiseptic tank ULTAN .....	45
<b>Belenkov D.A., Levinskij J.B., Stenina E.I.</b> Studying of properties of the good, impregnated by antiseptic tank ULTAN .....	49
<b>Levinskij J.B., Levinskaja G.N., Agafonova R.I., Savina V.V., Volegova N.V.</b> Rational processing of raw material for sawn timber on preparations for manufacture glued constructive materials .....	53
<b>Levinskij J.B., Agafonova R.I.</b> Theoretical substantiation of combined glued beams structure .....	57
<b>Levinskij J.B., Volegova N.V., Omigov S.A., Medvedev A.V.</b> Designs and technology perfection of in industrial manufacture of frame wooden structures .....	59
<b>Levinskij J.B., Omigov S.A.,</b> Increasing of a level of assembly readiness of modular inhabited structures of fast expansion .....	66
<b>Levinskij J.B., Savina V.V.,</b> Increase constructive protection of fire plywood quality on a basis aspen and birch veneer .....	69
<b>Gazeev M.V., Putneva J.V., Zhdanov I.V.</b> The properties of water paint and varnish materials for wood and coverings on their basis .....	73
<b>Shishkina S.B., Vetoshkin J.I., Govorov G.G.</b> Paint of a composition with protective properties from x-ray radiation.....	76
<b>Konovalova U.M.</b> Production thermal and electrical energy of wood garbage on a wood storage enterprise .....	80
<b>Korkin E.S.</b> The calculation of the carving wood's potential volume recovery for standing crop's parameters .....	83

<b>Pobedinsky V.V., Berstenev A.V., Shunyaev S.N.</b> Modelling of process debarking forest product on the basis of the theory of fuzzy sets .....	90
<b>Novoselov V.G.</b> Reliability of technological systems in woodworking.....	98
<b>Novoselov V.G.</b> Stability of functioning of technological systems in woodworking	103
<b>Novoselov V.G., Poljakova T.V.</b> Theoretical research of reliability of technological system of woodworking on parameter of quality of production "accuracy" ...	108
<b>Sinegubova E.S., Grigorov I.G.</b> Physical methods of dispersible and composite materials on the polymers basis structure research .....	114
<b>Savelev V.V., Parshukov N.N.</b> Prospects of gluing systems development for massive wood.....	115
<b>Novoselov V.G., Rogozhnikova I.T.</b> Theoretical research of reliability of technological woodworking system on parameter of production quality "The surface roughness".....	117

*The progressive equipment and the tool*

<b>Vorobeva E.V.</b> The choice of the main technological equipment for production of sawn goods from undersized short wood materials .....	123
<b>Adikov S.G.</b> Design features of ultrasonic saw bow .....	125
<b>Gordeyev V.F., Adikov S.G.</b> Design features of frame-saw for ultrasonic sawing	133
<b>Pashkov V.K., Shchepochkin S.V.</b> About convective heat exchange of a cutting part saws at cutting .....	138
<b>Shchepochkin S.V.</b> About an estimation of cutting temperature at sawing by circular saws .....	143
<b>Sulinov V.I., Gorohovsky A.K.</b> Possible directions of modernization machine tools .....	146
<b>Glebov I.T., Glebov V.V.</b> Designing modern of systems aspiratsii of woodworking shops .....	148
<b>Glebov I.T.</b> Calculation of modes of cylindrical milling .....	151
<b>Glebov I.T.</b> Calculation of modes the half-closed and closed milling of wood ...	159
<b>Glebov I.T.</b> Milling radius surfaces .....	162
<b>Glebov I.T.</b> Definition of a roughness of the milled surface on radiuses of edges of a mill .....	165
<b>Berstenev A.V., Pobedinsky V.V.</b> Synthesis of mathematical model of a hydrodrive of the mechanism of cutting the rotary debarking machine in MatLab environment .....	170
<b>Berstenev A.V., Pobedinsky V.V.</b> Mathematical model of a hydrodrive of working body the rotary debarking machine .....	177
<b>Pobedinsky V.V., Berstenev A.V., Shunyaev S.N.</b> Modelling of working processes on rotary the debarking machine in MatLab environment .....	182
<b>Kuznetsov A.I., Novoselov V.G.</b> Modeling of the mechanism of log frames with parallel power streams and synchronizing element .....	188
<b>Raevskaja L.T.</b> Dynamic modelling of the is intense-deformed condition of elements axial-piston air motors .....	193
<b>Grishkevich A.A., Anikeenko A.F.</b> Experimental installation for research of milling process of wood and other materials .....	200
<b>Ljalko A.A., Fridrih A.P., Kuzmitsky I.F.</b> Modeling of woodworking processes in conditions uncertainty of systems parameters the rig – the adaptation - the tool - the detail .....	206
<b>Rapovets V.V., Burnosov N.B.</b> Definition of parameters of cutting process on the	

milling-bar machine tools influencing power parameters .....	211
<b>Sokolov E.V., Ankudinov D.T.</b> Modeling flowing fluid in the centrifugal pumps .....	217
<b>Sergeevichev A.V.</b> Features of cylindrical turning of logs.....	221
<b>Sergeevichev A.V.</b> Research of cutting part fragile durability of cutters knife block of an item type rotary cylindrical machine tool .....	223

*Problems of safety and ecology in woodworking*

<b>Cheremnyh N.N.</b> Noise in sawing-woodworking enterprises of Russia: from theory and experiments – to real need of industry .....	229
<b>Rezinskih Z.G., Gorbatenko J.A., Pervova I.G., Lipunov I.N.</b> New catalysts for treatment of toxic waste water .....	231
<b>Pobedinsky V.V., Shunyaev S.N.</b> Protection of wood in roofing designs from biological damage .....	233
<b>Shunyaev S.N., Pobedinsky V.V., Rychkov V.G.</b> Application of roofing and waterproofing materials on antiseptic to a basis .....	239

*Problems of vocational training and engineering in woodworking*

<b>Trakalo J.I., Chernyshev O.N., Vetoshkin J.I.</b> Specialization of the engineer-technologist in the field of design of furniture.....	245
<b>Glebov I.T.</b> Some recommendations for preparation of a material of lecture and the educational edition .....	248
<b>Porotnikova S.A.</b> Training of students to modern methods of designing of constructions out of wood .....	252
<b>Cheremnyh N.N., Timofeeva L.G., Rogozhnikova I.T.</b> Draft producing in AutoCAD environment (the experience of studies with the students of main engineering specialties) .....	256
<b>Arefeva O.J., Timofeeva L.G.</b> Joiner manufactures modeling by means of 3-D technology in the course of computer graphics .....	257
<b>Cheremnykh N.N., Arefeva O.J., Timofeeva L.G.</b> Using of AutoCAD volumetric technologies in the course of computer graphics for student of woodworking specialties .....	258
<b>Sinegubova E.S., Grishchenko M.A.</b> Specific features of teaching the foreign languages training production engineers at technical universities .....	260
The maintenance .....	262

# **ДЕРЕВООБРАБОТКА:**

**ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ, МЕНЕДЖМЕНТ XXI ВЕКА**

## **ТРУДЫ МЕЖДУНАРОДНОГО ЕВРАЗИЙСКОГО СИМПОЗИУМА**

Под ред. И.Т. Глебова

Спонсоры издания: ЗАО «Проектсервис», ООО «Экодрев»

Размножено с готового оригинал-макета ООО РИЦ «Компас»:  
620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 8. 100 экз.