

Министерство образования и науки Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический
университет имени С.М. Кирова

**Актуальные проблемы технологических процессов
лесозаготовительных и деревоперерабатывающих
производств**

**Актуальные проблемы технологических процессов
деревоперерабатывающих производств**

Методические указания по изучению дисциплины «Актуальные
проблемы технологических процессов деревоперерабатывающих
производств» для студентов, обучающихся по направлению 35.04.02

Санкт-Петербург
2015

Рассмотрены и рекомендованы к изданию методической комиссией
факультета механической технологии древесины Санкт-
Петербургского
государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова
от 18 декабря 2014 г.

Составители:

доктор технических наук, профессор А.Н. Чубинский
кандидат технических наук, доцент Е.Н. Кандакова
кандидат технических наук, доцент А.А. Тамби

Отв. редактор

доктор технических наук, профессор А.Н. Чубинский

Рецензент:

кафедра технологии лесопиления и сушки древесины

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня эффективность лесного сектора экономики России ниже, чем у аналогичной промышленности индустриально развитых стран. На территории Российской Федерации сосредоточено 20% мировых запасов лесов (около 83 млрд. м³ древесины на корню), но при этом доля в ВВП страны не превышает 1,3%, а доля в мировой торговле – 4%. Вместе с этим, начиная с 2001 г. наблюдается увеличение объемов производства и экспорта продукции из древесины, создаются новые производства по углубленной переработке древесного сырья. С конца прошлого десятилетия снижаются объемы экспорта сырья – круглого леса.

Дальнейшее развитие лесного сектора невозможно без увеличения объемов внутреннего рынка продукции из древесины, в первую очередь деревянного домостроения, совершенствования организации производства, повышения производительности труда, изменению подхода к обоснованию направлений использования лесоматериалов на основе знаний их свойств.

Развитие науки и практики переработки биомассы дерева неразрывно связана с историей Санкт-Петербургского лесотехнического университета, историей города и его пригородов: Лисинской и Охтинской лесными дачами. В Лесном институте в Петербурге XIX века проводились первые исследования в области древесиноведения и технологии обработки древесины.

Промышленное развитие России конца XIX века требовало увеличения объемов переработки древесины, расширялись области её применения. В этой связи исследования, направленные на совершенствование технологии обработки и защиты древесины, проводились не только в Лесном, но и в Горном институте, институте инженеров путей сообщения, в них принимали участие ученые Петербургского, а затем Ленинградского государственного университета, Политехнического и технологического институтов. Большой объем исследовательских работ в области древесиноведения и механической технологии древесины был проведен в годы индустриализации страны и послевоенный период времени. Конец 20-ых – начало 30-ых годов прошлого века характеризуются созданием сети отраслевых научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений лесного профиля. В этот период времени формируются научные школы по исследованиям основных наукоемких технологий механической обработки древесины.

Рост объемов переработки и производства основных продуктов из древесины, повышение их эксплуатационных свойств в послевоенные годы стали возможны, в том числе и благодаря результатам прикладных научно-исследовательских работ, фундаментальных исследований, на базе

которых велась подготовка инженерных кадров для деревообрабатывающей промышленности преимущественно в высших учебных заведениях лесотехнического профиля Советского Союза: Ленинградской лесотехнической академии им. С.М. Кирова, Московского, Архангельского, Воронежского, Свердловского, Львовского лесотехнических институтов, Сибирского (Красноярского), Белорусского (Минск) и Брянского технологических институтов.

Весомый вклад в развитие ассортиментной и технической политики деревообрабатывающих производств внесли отраслевые научно-исследовательские институты: Центральный научно-исследовательский институт механической обработки древесины, Центральный научно-исследовательский институт фанеры, Всесоюзный проектный и конструкторско-технологический институт мебели, Украинский научно-исследовательский институт механической обработки древесины, Всесоюзный научно-исследовательский институт древесины и другие.

В последнее десятилетие XX века и в начале XXI века отраслевая наука в силу ряда причин становится маловостребованной и центр тяжести научно-образовательного обеспечения промышленного производства вновь переносится на высшие учебные заведения.

1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ КУРСА

Дисциплина «Актуальные проблемы технологических процессов лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» изучается студентами факультетов механической технологии древесины и лесоинженерного на 1-ом курсе по магистерским программам направления 35.04.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств». Методические указания могут быть полезны студентам бакалавриата этого направления обучения при изучении ряда технологических дисциплин.

Подготовка магистров невозможна без знаний в области техники и технологии деревоперерабатывающих производств. Только глубокое усвоение древесиноведения, физики древесины и технологических дисциплин позволит в полной мере осознать и усвоить направления развития производства, научного поиска, методологию и методики научно-образовательного обеспечения материального производства в области переработки древесины.

Прежде чем приступить к изучению дисциплины, студенту необходимо ознакомиться с учебной программой. Учитывая отсутствие единого учебника, студенту целесообразно составлять краткий конспект по каждой теме на основе лекций, анализа литературы и периодических изданий, приведенных в методических указаниях.

В ходе изучения дисциплины после каждой темы целесообразно устраивать самоконтроль, отвечая на вопросы, взятые из тематического содержания курса.

Изучение дисциплин заканчивается сдачей экзамена.

Основными задачами изучения дисциплин являются:

- изучение основных этапов развития науки и технологии о древесине, её заготовки и переработке;
- изучение основных этапов развития методов и средств исследований в области строения и свойств древесины, её заготовки и переработки;
- усвоение основных направлений различия производства и научного поиска в области заготовки и переработки древесины;
- усвоение современных методов, методик и средств исследований в области заготовки и переработки древесины.

В результате изучения дисциплин студент должен:

- знать основные этапы развития и результаты научных исследований в области древесиноведения, заготовки и переработки древесины;

- знать перспективные направления исследований в области развития ассортимента продукции, древесиноведения, сырьевой базы, технологии и оборудования для заготовки и переработки древесины;
- знать методологию, современные методы, методики и средства научного поиска в области заготовки и переработки древесины.

Для успешного изучения дисциплин студенту необходимы знания в области:

- древесиноведения;
- физики древесины;
- теории и технологии сушки и защиты древесины;
- теории склеивания;
- технологий и оборудования переработки древесины.

2. ТЕМАТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Введение

История развития технологий, науки и образования в области лесного дела.

Основные направления развития заготовительных и деревоперерабатывающих производств.

Тема 2. Современные методы и средства переработки древесины

Основные достижения научно-технического прогресса в производстве пиломатериалов, фанеры, древесных плит из измельченной древесины, деревянных домов заводского изготовления, мебели, других материалов и изделий из древесины.

Тема 3. Основные результаты научных исследований в области древесиноведения и обработки древесины

Роль и место древесиноведения в науке об обработке древесины. Реологические состояния древесины. Древесина как капиллярно-пористое тело. Особенности тепло- и массопереноса в древесине. Специфические теории склеивания и прилипания. Применение теорий фракталов, упругости, ползучести и релаксации, связанного деформирования и фильтрации и других для обоснования технологий переработки древесины

Тема 4. Современные методы, методики и средства научного поиска в области древесиноведения и обработки древесины

Методы и методики анализа состояния и развития технологии производства материалов и изделий из древесины: экспертных оценок, расстановки приоритетов, мозгового штурма. Современные методы и средства

научного поиска: сканирующая электронная микроскопия, рентгенография, магнитно-резонансная и компьютерная томография, ультразвуковая диагностика, тепловидение и другие

3. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. М.: МГУЛ, 2007 г. – 351 с.
2. Пижурин А.А., Пижурин А.А. Основы научных исследований в деревообработке. М.: МГУЛ, 2005 г. – 305 с.
3. Чубинский А.Н., Сергеевичев В.В. Моделирование процессов склеивания древесных материалов. СПб.: Издательский дом «Герда», 2007 г. – 176 с.
4. Варанкина Г.С., Чубинский А.Н. Формирование низкотоксичных клееных древесных материалов. СПб.: ХИМИЗДАТ, 2014 г. – 148 с.
5. Чубинский А.Н. Магистерская диссертация. Методические указания. СПб.: СПбГЛТА, 2008 г. – 56 с.
6. Чубинский А.Н., Тамби А.А., Шагалова Т.А. Основы проектирования предприятий. Технологическое проектирование деревообрабатывающих производств: учебное пособие. СПб.: СПбГЛТА, 2011 г. – 168 с.
7. Чубинский А.Н., Тамби А.А., Шейнов А.И. Методология проектирования технологических процессов лесопиления 250400 - СПб.: СПбГЛТУ, 2012 г. - 56 с.
8. Калитеевский Р.Е., Артеменков А.М., Тамби А.А. Информационные технологии в лесопилении. – СПб.: Профи, 2010 г. – 192 с.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Введение

При изучении этого раздела студенту необходимо понять роль и место Лесного института (Санкт-Петербургского лесотехнического университета) в становлении практики воспроизводства и переработки лесных ресурсов, лесной науки и образования в области лесного дела в России и Европе, уяснить мотивы, побудившие развитие лесной научно-образовательной высшей школы, усвоить необходимость тесного взаимодействия науки и образования, исторически проследить открытие тех или иных факультетов, специальностей, направлений научных исследований, вызванных потребностью развития экономики страны. Важным представляется понимание роли леса и древесины в жизни человека. Лес выполняет жизненно важные

для человека функции: экологические (депонирование углерода) – легкие планеты; рекреационные; лес является одним из источников продуктов питания; лес обеспечивает человека древесиной – природным ресурсом издревле являвшимся строительным материалом для жилища и источником энергии.

Перерабатывая древесину, улучшая её свойства человек продолжает расширять сферу её использования, повышая её значимость в своей жизни.

Изучая этот раздел дисциплины, студент должен понимать, что все технологические решения в области переработки древесины необходимо принимать на основе знаний о свойствах, строении и составе древесины различных пород.

История становления древесиноведения ведет свое начало с XIX века с исследований В.В. Петрова, А.Е. Теплоухова, А.В. Гадолина, Д.Н. Кайгородова, П.А. Афанасьева, и других ученых. Большой объем работ по изучению свойств древесины был выполнен в довоенный период времени в первой половине XX века известными учеными, авторами фундаментальных работ и учебников по древесиноведению С.И. Ваниным, Л.М. Перельгиным, Ф.П. Белянкиным, Н.Л. Леонтьевым, А.Т. Вакиным, Л.А. Ивановым, И.С. Мелеховым и другими исследователями. Во второй половине XX века весомый вклад в развитие технического древесиноведения внесли известные ученые Ю.М. Иванов, А.Н. Митинский, П.Н. Хухранский, П.С. Серговский, В.А. Баженов, В.Е. Москалева, С.Н. Горшин, Д.В. Соколов, Е.К. Ашкенази, Б.С. Чудинов, О.И. Полубояринов, А.М. Боровиков, Б.Н. Уголев и др. Исследования свойств древесины продолжаются и сегодня в научных школах ведущих высших учебных заведений лесного профиля России – Санкт-Петербургском государственном лесотехническом университете имени С.М. Кирова, Московском государственном университете леса, Воронежской государственной лесотехнической академии и других ВУЗах России.

Далее студент должен уяснить основные тенденции развития ассортимента материалов и изделий из древесины, методов и средств их производства. Необходимо понимать, что существуют принципиально различные направления ассортиментной стратегии деревообрабатывающих предприятий и производств, потребляющих древесные материалы (строительных и мебельных):

- преимущественное развитие материалов и изделий из цельной древесины (в том числе клееной: клееный брус, клееный щит, фанера, клееные деревянные конструкции);

- преимущественное развитие материалов и изделий из измельченной древесины (древесностружечные (ДСтП и OSB), древесноволокнистые (ДВПт, ДВПсп (MDF), ДВПм) и плиты на минеральных вяжущих).

Россия, по нашему мнению, должна направлять усилия на развитие первого направления, в этом её конкурентное преимущество по сравнению со странами с дефицитом лесных ресурсов. Невостребованная на этом пути развития древесина должна использоваться, в первую очередь, в целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) и для получения энергии.

Изучая основные направления технического развития деревообрабатывающих производств, важно чтобы студент понимал влияние форм организации общественного труда (концентрации, комбинирования, специализации и кооперации производства) на выбор технологии и оборудования, необходимость как в использовании узкоспециализированной высокомеханизированной и автоматизированной техники (лесопиление, фанера, древесные плиты), так и гибких технологий, агрегатирования оборудования при изготовлении товаров потребительского спроса, характеризующихся коротким жизненным циклом.

Тема 2. Современные методы и средства обработки древесины

Студент должен знать основные направления развития технологий и оборудования для механической обработки древесины с учетом влияния состояния техники деревообработки, лесосырьевой базы России, ментальности населения, экономической ситуации в стране и др. факторов. При их анализе необходимо уяснить тенденции развития способов обработки древесины резанием (пилением, лущением, цилиндрическим фрезерованием, строганием, торцовым фрезерованием, долблением, сверлением, лазерным лучём, раскаленной нитью и др.); сушки древесины (классические способы, центрифугированием, вакуумированием, токами СВЧ и др.); гидротермической обработки древесины (проваркой, пропаркой, пропиткой и др.); пьезотермической обработки древесины (плоским прессованием, вальцеванием и др.); склеивания и защиты древесины (методы нанесения, отверждения, облагораживания).

Студенту необходимо уметь анализировать известные способы и методы обработки древесины с точки зрения их материало- и энергоемкости, безопасности, качества обработки и продукции в целом, производительности и т.д.

Далее необходимо знать современные тенденции в развитии оборудования в области лесопиления, производства фанеры, столярно-строительных изделий и мебели и те новые научно-технические решения, на основе которых было создано это оборудование. Эти знания, безусловно, должны быть сформированы у студента на основе изучения специальных дисциплин.

В области лесопиления студенту необходимо знать виды бревнопильного оборудования (рис. 1), бревнопильных потоков (рис. 2, 3) и принципы их выбора.

В области фанерного производства следует понимать принципиальные различия возможных вариантов гидротермической обработки сырья в варочных бассейнах позиционного и проходного типов, лущения древесины на станках с приводными и не приводными шпинделями. Важным представляется понимание необходимости разделения сырого лущеного шпона по влажности перед сушкой, влияния различных агентов сушки (паро-воздушной и газо-воздушной смеси) на качество сухого лущеного шпона, необходимости холодного подпрессовывания пакетов шпона и кондиционирования фанеры после горячего прессования, понимание основных причин образования брака на всех стадиях технологического процесса, включая облагораживание (ламинирование) фанеры.

В области производства изделий из древесины важно знать влияние вида древесных материалов (пиломатериалы, фанера, древесные плиты) и защитно-декоративных материалов на выбор технологии и оборудования для их обработки и нанесения.

В области энергетического использования древесины важно понимать возможность использования деревообрабатывающими предприятиями отходов производства с целью получения тепловой и электрической энергии.

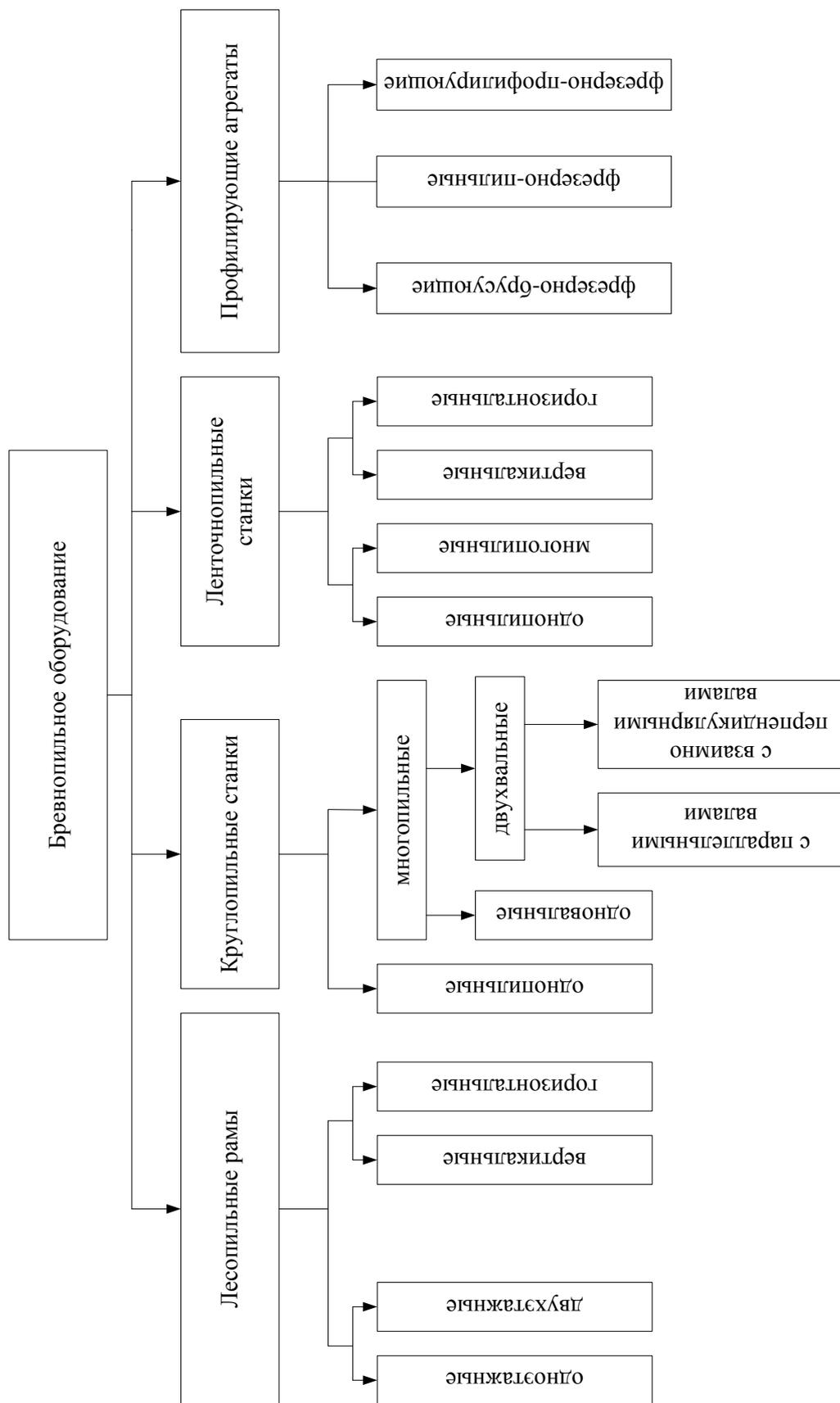
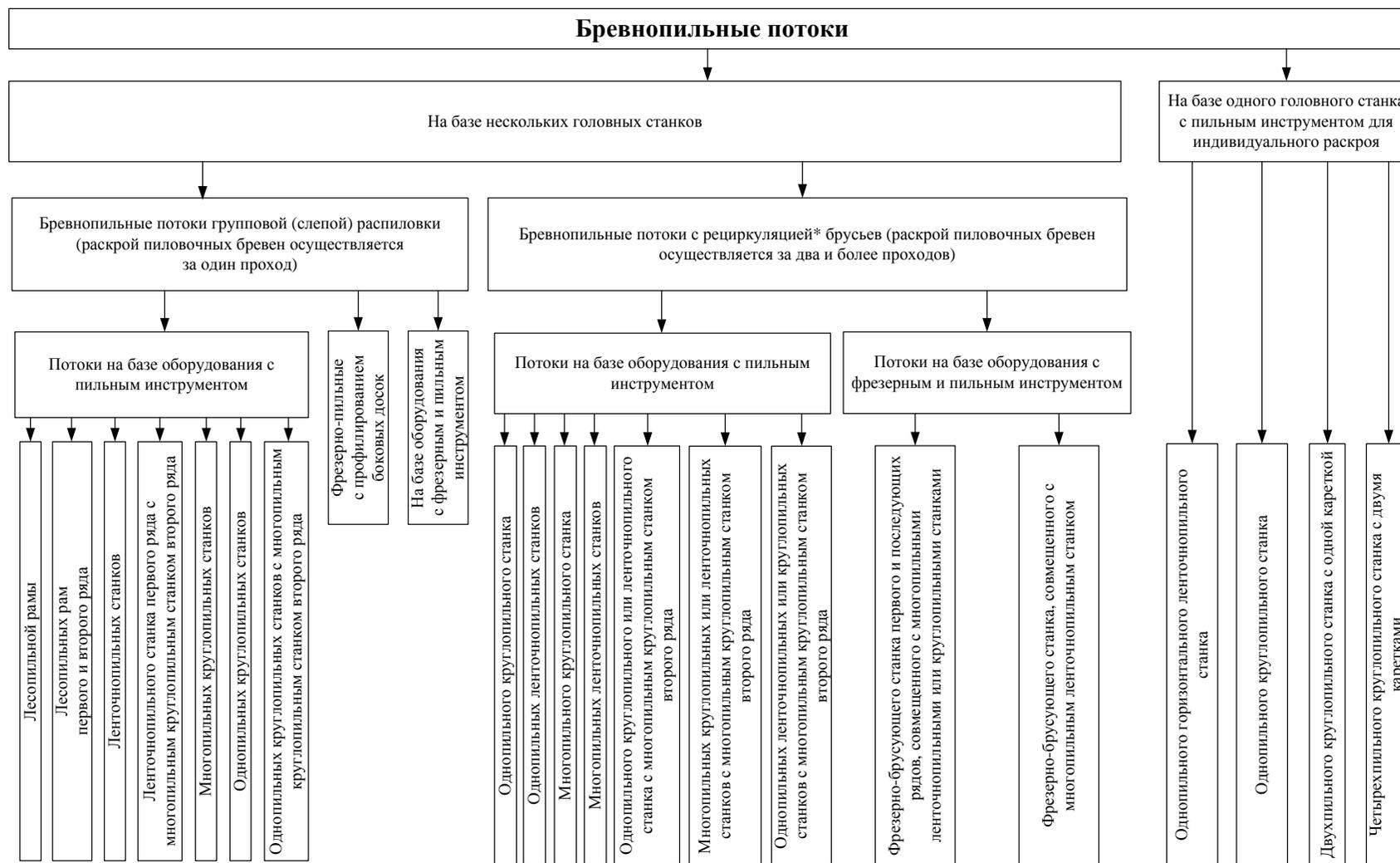


Рис. 1. Классификация бревнопильного оборудования



* Рециркуляция – пиловочное бревно (брус) возвращается на исходную или предыдущую позицию.

Рис.2. Классификация бревнопильных потоков по видам оборудования

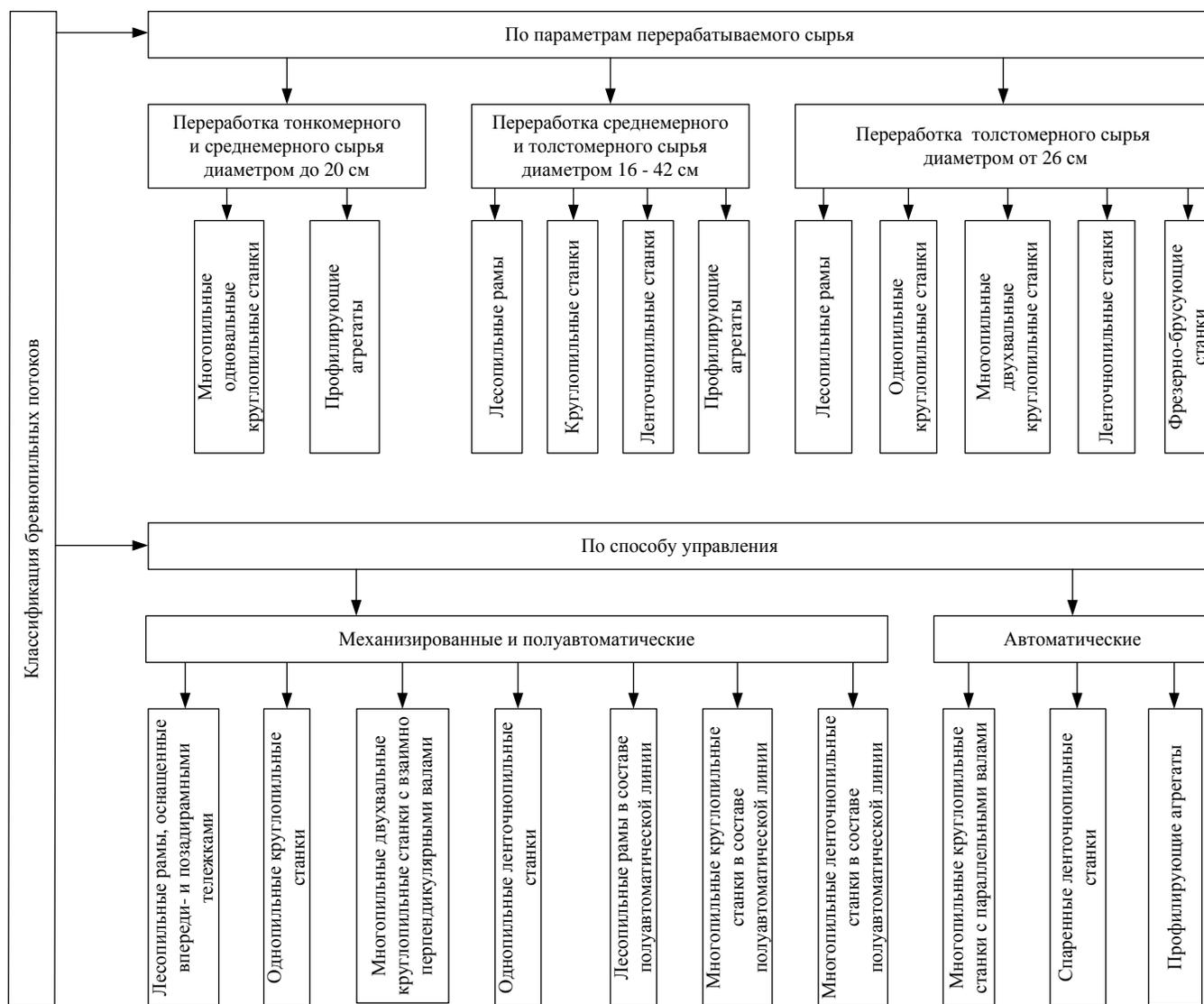


Рис. 3. Классификация бревнопильных потоков по параметрам перерабатываемого сырья и способам управления

Тема 3. Основные результаты научных исследований в области древесиноведения и обработки древесины

На основе знаний, полученных в дисциплине «Древесиноведение», студенту необходимо проанализировать состав и строение древесины как материала, подлежащего механической и физико-химической обработке. В результате необходимо понять, что древесина является природным высокомолекулярным веществом, имеющим сложную анатомическую и химическую структуру. Анатомически древесина представляет собой клеточное вещество с клетками различного назначения, свойств и размеров разными у хвойных и лиственных пород древесины. Изучая состав и строение древесины, необходимо уделить внимание существенным отличиям хвойных и лиственных пород, влияющих на технологии: обработки резанием, сушки, склеивания, уплотнения, гнутья, облагораживания поверхности. К таким отличиям следует в первую очередь отнести:

- значительную неоднородность свойств ранней и поздней древесины хвойных пород;
- их низкую парогазопроницаемость;
- наличие натуральных смол в большом объеме у хвойных пород древесины;
- значительное различие во влажности заболонной и ядровой (у сосны, лиственницы и кедра), заболонной и спелой древесины (у ели и пихты).

Студент должен уяснить, что с физической точки зрения древесина является капиллярно-пористым телом с капиллярами различных форм и размеров. При этом следует знать, что основной её элемент – целлюлоза имеет аморфно-кристаллическое строение (по одной из наиболее распространенных теорий; параллельно существуют теории кристаллического и аморфного строения).

Далее, целесообразно проанализировать физические свойства древесины, зависящие от её природы. К основным из них с точки зрения технологии деревообработки относятся: влажность древесины и её взаимодействие с влагой и водой, плотность древесины и собственно древесного вещества, проницаемость древесины жидкостями и газами, теплопроводность и теплоемкость, электро- и звукопроводность. При этом особое внимание необходимо уделить связям древесины с водой при уменьшении влажности от точки насыщения волокна до нулевой, явлению контракции при поглощении древесиной воды от нуля до 6% влажности, гистерезису десорбции.

Важным свойством древесины является её пористость, составляющая в среднем 55% объема. Наличие пор в древесине существенным образом влияет на её деформации, способность поглощать влагу.

Затем студенту следует проанализировать основные механические свойства древесины, их зависимость от влажности, места расположения образца в стволе дерева, направления усилия по отношению к направлениям волокон. Особое внимание необходимо обратить на характер зависимости между напряжением и деформацией при нагружении древесины, существенно отличающий её от других конструкционных материалов.

Далее студент приступает к изучению истории и методологии науки о механической переработке древесины. Особое внимание следует уделить пониманию резания древесины как сложного механико-физико-химического процесса, при котором имеют место превращения механической энергии в тепловую, химическую и электрическую.

Первые исследования в области резания были опубликованы в книге профессора Петербургского горного института И.А. Тиме «Сопротивление металла и дерева резанию». Большой вклад в развитие теории резания древесины внесли отечественные (П.А. Афанасьев, А.Л. Бершадский, М.А. Дешевой, С.А. Воскресенский, А.Э. Грубе, Е.Г. Ивановский) и зарубежные ученые (М.А. Маккензи (США), Е. Кивимаа (Финляндия), Г. Палич (ФРГ)).

В середине прошлого века было проведено большое число экспериментальных исследований, направленных на установление эмпирических зависимостей влияния большого числа факторов на силу и мощность резания. Резание древесины рассматривается «как механический процесс деформирования и разрушения древесины в стружке и в некоторых случаях под поверхностью резания». Авторами используются методы сопротивления материалов и теории упругости.

Развитие реологии, изучение процесса на клеточном уровне дало новый импульс исследованиям в области резания древесины.

В лабораториях, а сегодня и на практике, изучаются процессы резания, исключая образование стружки, лазером, гидроструей, раскаленной нитью.

При анализе известных теорий резания студенту необходимо понимать характер взаимодействия древесины и резца, распределения нормальных и касательных напряжений по поверхности резца, механические и физические процессы, имеющие место при резании древесины. Особое внимание необходимо уделить вопросам формирования поверхности, формы и размеров обрабатываемого предмета труда, качества обработки.

Развитие промышленности в 30-ые годы прошлого века потребовало увеличения объема производства пиломатериалов, а, следовательно, и заготовки древесины, и увеличения выхода пиломатериалов из пиловочника. В 1932 г. ленинградский математик Х.М. Фельдман разработал систему максимальных поставок, что и считается началом создания теории лесопиления. Он определил наибольшие по площади поперечные сечения и дли-

ны (в т.ч. с учетом сбежистости с коэффициентом сбега 1,18) досок. Несмотря на ряд упущений этой теории (отсутствие ограничений по спецификационным размерам поперечного сечения, фиксированный коэффициент сбега), она дала развитие технологии лесопиления в области сортировки бревен по диаметрам и сбегу. Теория получила развитие в трудах проф. Д.Ф. Шапиро, который предложил определять критическое расстояние между симметричными относительно центра сечения бревна пропилами, делящими бревно на пифагорову и сбеговые зоны.

Применение этой формулы позволило учитывать при расчете поставов фактический сбеги бревна, а построенная номограмма Фельдмана-Шапиро позволила рассчитать максимальные поставки в зависимости от толщины, ширины и длины досок. Однако, и в этом случае было трудно учесть спецификационные размеры досок.

Дальнейшее развитие теория раскроя получила в трудах профессоров: Н.А. Батина, А.Н. Песоцкого, Р.Е. Калитеевского, П.П. Аксенова, В.Ф. Ветшевой. Графики проф. Н.А. Батина позволили максимизировать объемный выход при требуемой спецификации пиломатериалов. Проф. А.Н. Песоцкий обосновал влияние формы, размеров, пороков древесины на объемный выход пиломатериалов. Проблемы оптимизации раскроя пиловочника с использованием электронно-вычислительной техники нашли свое решение в трудах проф. Р.Е. Калитеевского.

Отдельно студенту следует остановиться на изучении методов и методик оценки формы ствола, имевших принципиально важное значение до появления современных методов на основе сканирования поверхности лазерным лучом или методами томографии с дальнейшей обработкой полученных результатов программными комплексами.

Далее студент приступает к изучению истории и методологии защиты древесины. Защита древесины от гниения известна с давних времен. Широкое развитие теории и практики защитной обработки древесины связано с ростом строительства железных дорог в России. В конце XIX века (1886 г.) Министерство путей сообщения обязывает пропитывать шпалы, в 1887 году создает специальную комиссию «О предохранении дерева от преждевременной порчи и гниения». Первые опыты по автоклавной пропитке древесины в России относятся еще к 1853 г. В 1913 году в институте инженеров путей сообщения под руководством проф. А.В. Сапожникова начинает работать станция по пропитке и испытанию шпал. Здесь проводят исследования по пропитке древесины креозотом, смесью креозота и хлорида цинка, смолодегтярной эмульсией и креозотнафтом. Экспериментально изучают влияние температуры, воздействие электрического тока на степень пропитки.

Глубокие исследования в конце XIX – начале XX века были проведены известными российскими учеными В.И. Герценштейном, Д.Н. Кайгородовым, Л.О. Кантором, К.В. Харчиковым, А.В. Сапожниковым, Н.А. Филипповым и др. В советский период времени проблемы защиты древесины исследуют во многих научных и вузовских организациях. Конец 20-ых – начало 30-ых годов прошлого века характеризуется развитием сети отраслевых вузов и НИИ. Исследования по защите древесины проводят в Ленинградской лесотехнической академии (С.И. Ванин), Архангельском лесотехническом институте (Ф.И. Коперин), Уральском лесотехническом институте (В.Н. Петри), ЦНИИ механической обработки древесины (В.В. Миллер), ЦНИИ лесохимии (Д.Н. Лекторский), ЦНИИ Министерства путей сообщения (Б.К. Флеров, К.А. Попов, В.В. Попов), ЦНИИ промышленных сооружений (А.Н. Борщевский, М.М. Голдин), Сенежской лаборатории консервирования древесины (С.Н. Горшин).

Параллельно с исследованиями по биозащите проводились поиски направлений и средств огнезащиты древесины. В дореволюционный период времени эти проблемы изучали М.И. Малыхин, П. Лохтин, Н.Н. Лямин, В.И. Герценштейн. Уже в этот период времени проф. П. Лохтиным сформулированы направления борьбы с пожарами (профилактика, снижение скорости распространения огня, тушение), определены вещества для огнезащитных составов: растворимые силикаты, фосфаты, соли аммония, хлориды, указано на необходимость создания невымываемой огнезащиты /4/.

В советский период времени исследования по повышению стойкости древесины к воздействию огня проводили во Всесоюзном научно-исследовательском институте пожарной охраны, Санкт-Петербургской лесотехнической академии (А.А. Леонович), ЦНИИ фанеры (А.В. Орлов), ЦНИИ механической обработки древесины, ВНИИ древесины.

Наиболее распространенным способом биозащиты древесины является её сушка, т.е. уменьшение влажности древесины до значений, при которых прекращается развитие микроорганизмов. Важным представляется и понимание того, что сушить древесину целесообразно до равновесной эксплуатационной влажности (внутри помещений – 12%, на открытом воздухе в среднем – 18-20%).

Исследованиям процесса сушки посвящено большое число работ российских ученых: В.Е. Грум-Гржимайло, А.В. Лыкова, И.В. Кречетова, С.Н. Горшина, П.С. Серговского, Б.С. Чудинова, П.В. Соколова, Д.М. Стерлина и многих других.

При изучении истории и методологии сушки древесины студенту необходимо базироваться на классических теориях тепло- и массопереноса (табл. 1). Студент должен знать, что явления переноса субстанции (массы, энергии, импульса и т.п.) имеют место в различных технологиях деревооб-

работки: сушке, пропитке, проварке, пропарке, склеивании, уплотнении, гнущее, облагораживании древесины. И здесь, как и в любой термодинамической системе при взаимодействии тел процессы переноса теплоты и массы, приводящие к выравниванию их концентрации, имеют как молекулярный, так и молярный характер. Студенту известно, что молекулярный перенос характеризуется перемешиванием частиц путем хаотичного движения молекул, а при молярном – отдельные объемы (моли) вещества перемещаются относительно друг друга. Концентрация вещества (энергии) может быть количественно определена потенциалом переноса (температурой, T , давлением, p , концентрацией, c). Перенос происходит от большего потенциала к меньшему во всех направлениях. Наибольшая интенсивность имеет место по нормали к изопотенциальной поверхности.

Таблица 1

Фундаментальные законы переноса теплоты и массы

Процесс переноса субстанции	Вид переноса	Феноменологический закон переноса	Плотность потока субстанции	Потенциал переноса	Параметр проводимости
Теплопроводность	Молекулярный	Закон Фурье, $\lambda \cdot \text{grad } T$	Теплового, q , Вт/м ²	T , °С	Теплопроводность, λ , Вт/(м·К)
Фильтрация	Молярный	Закон Дарси, $K \cdot \text{grad } p$	Фильтрационного, q_f , кг/(м ² ·с)	p , МПа	Коэффициент фильтрации, K , (кг/(м·Па))
Диффузия	Молекулярный	Закон Фика, $D \cdot \text{grad } c$	Диффузионного, $q_{\text{диф}}$, кг/(м ² ·с)	c , кг/м ³	Коэффициент диффузии, D , м ² /с

Вспомнив основные положения молекулярной физики и термодинамики, студент приступает к анализу нестационарных (изменяющихся во времени) процессов теплопереноса, характерных для технологий обработки древесины. Важно помнить, что вследствие капиллярно-пористой структуры перенос тепла в древесине существенно отличается от аналогичного в сплошных твердых телах. Студенту необходимо знать существенные качественные отличия, сформулированные на основе общих положений А.В. Лыкова:

1. Эффективная теплопроводность капиллярно-пористых тел существенно зависит от теплопроводности вещества, заполняющего поровое пространство;

2. Конвективным переносом теплоты в капиллярно-пористой системе в большинстве случаев можно пренебречь, так как очень малые разме-

ры пор препятствуют возникновению конвективных токов под действием температурного градиента;

3. Эффективная теплопроводность древесины зависит от её влажности, размеров и объема пор, а также от давления парогазовой смеси в них.

Как правило, эти характеристики непостоянны при гидро- и пьезотермической обработке древесины.

Очень важный аспект, о котором студент должен помнить, анализируя процессы нагрева, это взаимодействие древесины с водой. Во влажных капиллярно-пористых телах, к которым относится древесина, вместе с переносом энергии в виде теплоты происходит дополнительный перенос энергии за счет движения массы. Естественно, чем больше влагосодержание, тем больше коэффициент теплопроводности (λ). Студенту необходимо знать также, что и удельная теплоемкость влажного тела отличается от удельной теплоемкости сухого капиллярно-пористого тела. Как правило, она линейно зависит от влагосодержания, но для древесины эта зависимость имеет сложный вид, так как для последней характерны различные связи с водой. Коэффициент температуропроводности или диффузии тепла (a) с увеличением влагосодержания повышается, а затем уменьшается, т.е. имеет место экстремум, соответствующий переходу от одной формы связи влаги к другой.

Далее студент приступает к анализу процессов массопереноса по той же методической схеме, что и при анализе теплопереноса. Для этого, базирясь на основных положениях молекулярной диффузии, описываемой законом Фика, турбулентной диффузии и конвективного переноса, и видах переноса вещества (абсорбции, экстракции, адсорбции, сушки) следует понять специфику капиллярно-пористых тел вообще и древесины в частности.

Затем студенту необходимо уяснить основные результаты теоретических и экспериментальных научных исследований в области сушки древесины: свойств водяного пара и воздуха как сушильных агентов; свойств древесины как объекта сушки и физических явлений, имеющих место при её сушке, включая: гигроскопические свойства, закономерности нагревания и охлаждения, движения влаги в древесине, кинетику сушки, деформации и напряжения в древесине при сушке, влияние влажности и температуры на физико-механические свойства древесины.

Эти исследования явились основой для обоснования, в первую очередь, конвективно-тепловой сушки пиломатериалов в камерах позиционного и проходного типа.

Далее студент приступает к изучению истории и методологии прессования (уплотнения) и гнущья древесины. В начале необходимо вспомнить основные положения теории упругости, в первую очередь связи «напряже-

ние – деформация». Затем на основе знаний о свойствах древесины дать определение основных понятий о её поведении под нагрузкой в различных состояниях в зависимости от влажности, температуры, степени обработки модификаторами. Известно, что высокомолекулярные соединения, к которым относится и древесина, характеризуются релаксационным состоянием вещества: стеклообразное, высокоэластическое и вязкотекучее. Древесина при нормальных условиях (температура 20°C) в сухом виде (влажность около 12%) находится в стеклообразном состоянии. (Температура стеклования для целлюлозы $\approx 220^{\circ}\text{C}$, для нецеллюлозных полисахаридов $\approx 165\div 175^{\circ}\text{C}$, для лигнина $\approx 125\div 200^{\circ}\text{C}$).

В таком виде при нагружении для древесины характерна упругая деформация, доля остаточной деформации мала и, например, при «холодном» склеивании шпона не превышает 0,02 (2%). Нагружение древесины в нагретом состоянии ($T \geq 100^{\circ}\text{C}$) и влажности близкой к точке насыщения волокна сопровождается значительным ростом полной деформации, состоящей из вязкоупругой и вязкоэластической компонент. После прекращения действия нагрузки деформация частично восстанавливается. Величина восстановившейся деформации зависит от состояния древесины в момент разгрузки. Если в нагруженном состоянии древесину высушить и охладить, то большая часть вязкоэластической деформации задержится, но при повторном нагреве и увлажнении она восстановится. Таким образом, вязкоэластическая деформация является термовлагообратимой.

Студент должен понимать как описанные выше особенности деформирования (снижение модуля упругости при нагревании и увлажнении) используются в технологиях лущения, строгания, уплотнения и гнутья древесины, склеивания шпона в производстве фанеры, фанерных плит и пластиков.

Важным представляется понимание студентом необходимости моделирования процессов уплотнения, прессования и гнутья, в целом пьезотермической обработки древесины. Здесь необходимы знания реологических моделей и умение использовать их для оценки поведения деформируемых тел, знания и умение анализировать обобщенный закон Гука, закон Гука-Био, основных положений теории наследственности Больцмана-Вольтерра, теории связанного деформирования и фильтрации.

Студент должен понимать с какой целью проводились исследования как в области уплотнения древесины, так и в области её гнутья. В первом случае для повышения прочности, во втором – для определения допустимого радиуса изгиба.

Исследованиями процессов прессования древесины, изучением её деформаций занимались многие научные школы как в России, так и за рубежом. Результаты этих исследований нашли отражение в трудах Ю.М. Ива-

нова, П.Н. Хухрянского, Ф.П. Белянкина, А.М. Боровикова, Б.Н. Уголева, Н.А. Модина, А.Б. Израелита, А.Н. Чубинского, В.В. Сергеевичева, В.А. Шамаева.

Многие технологические процессы производства материалов и изделий из древесины реализуются на основе взаимодействия древесины с различными веществами, к основным из которых относятся жидкие клеящие и лакокрасочные материалы. Вот почему большая часть научных исследований в области склеивания и отделки древесины посвящена изучению процесса взаимодействия твердой подложки (древесины) и жидкого адгезива (клей, лак).

Анализировать взаимодействие различных веществ, имеющее место при склеивании и отделке целесообразно в технологической последовательности образования соединений и покрытий, начиная с нанесения жидкости на твердое тело, и с учетом следующей энергетической иерархии: на первом (высшем энергетическом) уровне образуются ионные и ковалентные связи; на втором – взаимодействуют молекулы веществ с образованием ориентационных, индукционных и дисперсионных связей; на третьем (надмолекулярном) уровне происходит механическое взаимодействие тел и их составных частей.

Студент должен знать, что к концу прошлого века сложились определенные научно обоснованные представления о характере взаимодействия древесины с адгезивами, предложены теории адгезии: механическая, молекулярно-адсорбционная, электрическая (электронная), диффузионная, химическая, электрорелаксационная, каждая из которых в той или иной степени объясняет природу сил адгезии, но ни одна из них не позволяет расчетным путем получить значения прочности соединения, определяемые с помощью испытаний. Таким образом, каждая из теорий способна дать качественную оценку влияния тех или иных факторов, явлений, процессов на уровне взаимодействия тел при склеивании и прилипанию, что и используется широко на практике для обоснования новых видов клеящих и лакокрасочных материалов, их физико-химических свойств, параметров режимов их нанесения и отверждения.

Анализируя теории адгезии, необходимо преломлять их в свете знаний свойств древесины и применяемых в деревообработке клеев и лакокрасочных материалов. Важным, учитывая капиллярно-пористое строение древесины, представляется правильное понимание механической теории адгезии. Доказана возможность склеивания древесины полиэтиленом, полибутиленом, полипропиленом, не являющимися полярными веществами, т.е. специфические теории адгезии не могут объяснить их прочную связь с древесиной. С точки зрения молекулярно-адсорбционной теории важны оценка поверхностной энергии древесины, связующих и лакокрасочных

материалов, определение факторов, влияющих на поверхностную активность, соотношение поверхностных энергий жидкости и твердого тела, при котором имеет место эффект смачивания (искривления поверхности жидкости на твердой подложке), определение влияния полярности тел на поверхностное взаимодействие.

Студенту необходимо знать, что поверхностные свойства древесины могут быть охарактеризованы поверхностной энергией Гиббса, которую можно определить по методу В.А. Зисмана. Численно её принимают равной поверхностному натяжению жидкости, полностью растекающейся по поверхности твердого тела. Растекание и смачивание органических жидкостей на поверхности органических тел в нормальных условиях без активации (механической, тепловой, химической и др.) возможно при условии, когда поверхностное натяжение адгезива меньше, чем у древесины. Следует помнить, что от поверхностной энергии твердого тела и жидкости зависит адсорбционная способность подложки, а в результате поглощения древесиной жидкого клея или лакокрасочного материала и начинается взаимодействие этих веществ на молекулярном уровне, приводящее в конечном итоге к их адгезионной связи, а при условии отверждения адгезива – к прочному соединению. Необходимо знать и о снижении поверхностной активности древесины в результате её старения, факторов, приводящих к старению, в первую очередь, способах и режимах обработки, в том числе сушки. Анализируя химическую теорию, необходимо определить реакционно способные группы у древесины и адгезивов, которые потенциально могут вступать в химические реакции, а также понять роль химической связи в обеспечении прочности и водостойкости соединений и покрытий.

Студент должен представлять и механизм отверждения связующих и лакокрасочных материалов, процессы и явления, приводящие к нарастанию когезионной прочности, их роль в формировании качества клеевого соединения и лакокрасочного покрытия.

Большой вклад в исследование процессов и явлений взаимодействия тел при склеивании и прилипанию внесли отечественные и зарубежные ученые: Мак-Бен, Мак-Ларен, де Бройн, Воюцкий С.С., Дерягин Б.В., Кротова Н.А., Зимон А.Д., Москвитин Н.И., Басин В.Е., Берлин А.А. и др. Взаимодействие древесины с клеящими и лакокрасочными материалами представлено в работах Буглая Б.М., Куликова В.А., Онегина В.И., Бирюкова В.Г., Чубинского А.Н., Цоя Ю.И., Рыбина Б.М., F. Kollman, С.-У. Hse, T.Goto, Н. Harada, J.D. Wellons и других.

Тема 4. Современные методы, методики и средства научного поиска в области древесиноведения и обработки древесины

Студент должен понимать, что современный уровень науки о древесине таков, что обоснование технологии обработки древесины необходимо выполнять на основе ее строения и свойств, которые принципиально отличаются не только у разных пород древесины, но различны и в разных частях ствола одного дерева (рис. 4-5).

Зная эти различия, выбирают не только возможные области применения древесины, но и технологию ее обработки.

Необходимо, также, исследовать маловостребованные промышленностью породы древесины, определить возможные области их применения, особенности их строения, физические и химические свойства, влияющие как на формирование будущего продукта, так и его эксплуатационные качества, а также на способы и средства обработки. Это в большей степени относится к таким породам древесины как лиственница и осина. Лиственница, обладающая высокими физико-механическими свойствами и естественной биостойкостью, мало востребована в связи с технологическими трудностями обработки; осина, несмотря на достаточно высокие относительно её плотности механические свойства, также не находит широкого применения в промышленном производстве, а, с учетом её высокой воспроизводимости, ухудшает породно-качественный состав древостоев, рис. 6. Именно эти породы древесины требуют тщательного изучения и определения их места в экономике.

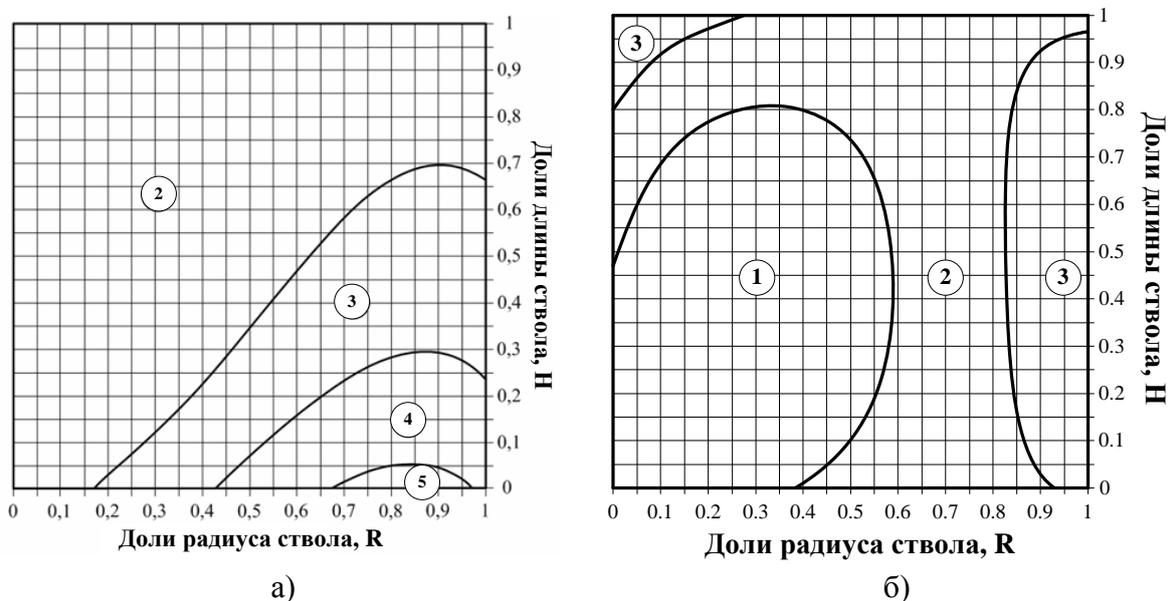


Рис. 4. Распределение плотности древесины в стволе сосны (а) и ели (б) при 12-% влажности, кг/м³: 1 - 350-400; 2 - 400-450, 3 - 450 - 500; 4 - 500-550; 5 - 550-600.

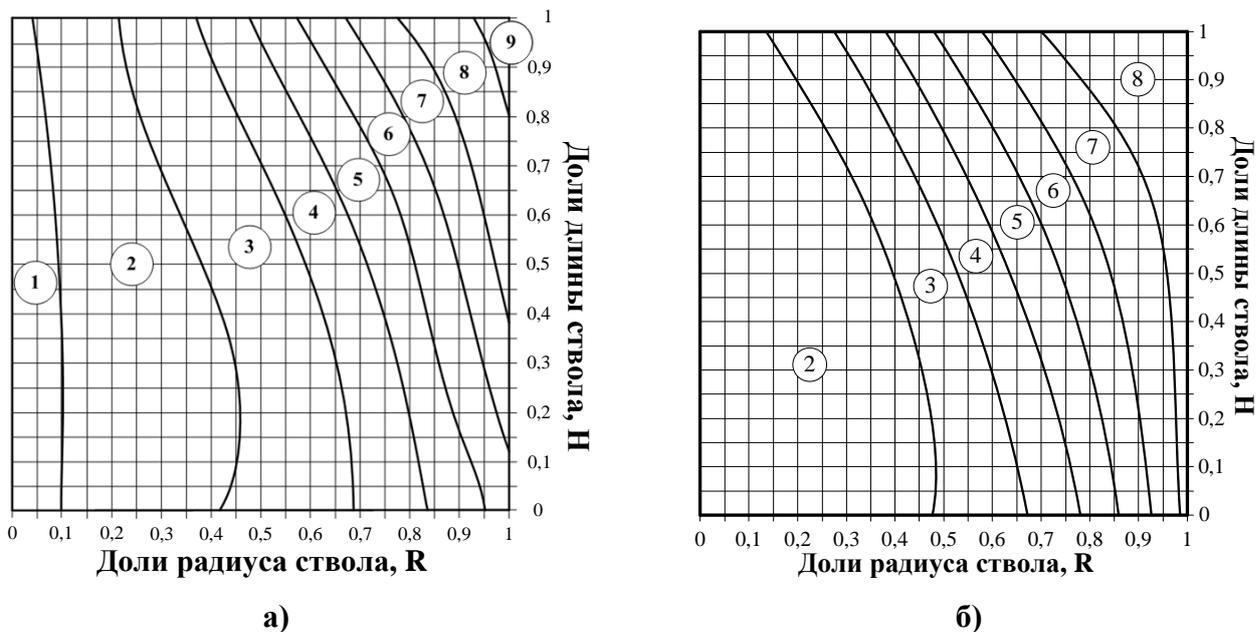


Рис 5. Распределение влажности в стволе свежесрубленной древесины сосны (а) и ели (б), %: 1 - 0-20; 2 - 20-40; 3 - 40-60; 4 - 60-80; 5 - 80-100; 6 - 100-120; 7 - 120-140; 8 - 140-160; 9 - 160-180.

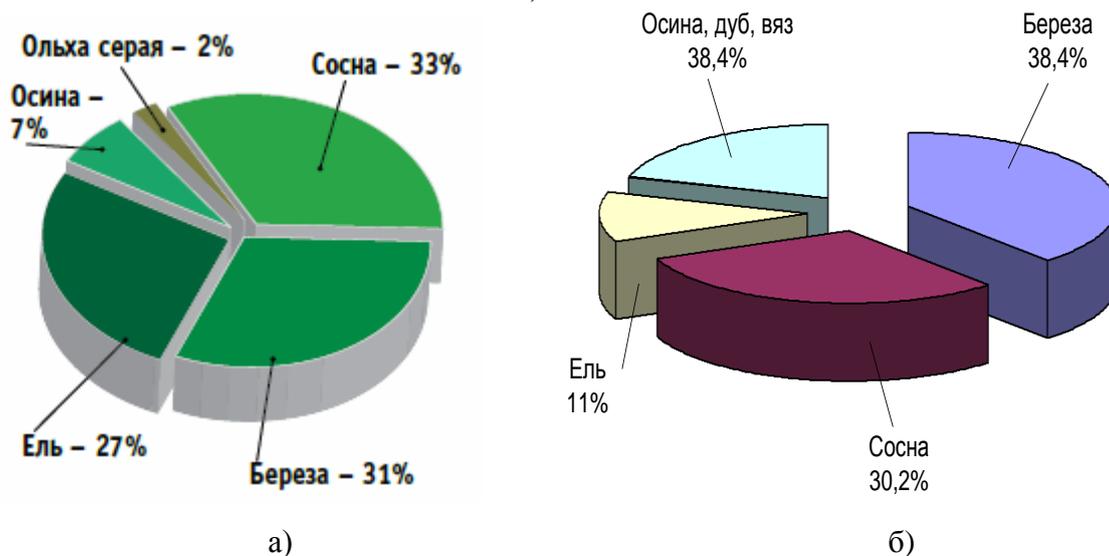


Рис. 6. Распределение площадей насаждений по главным лесообразующим породам для Ленинградской (а) и Псковской (б) областей

Далее студент приступает к изучению современных проблем наукоемких технологий обработки древесины, её взаимодействия с различными веществами в процессе пьезо- и гидротермической обработки древесины.

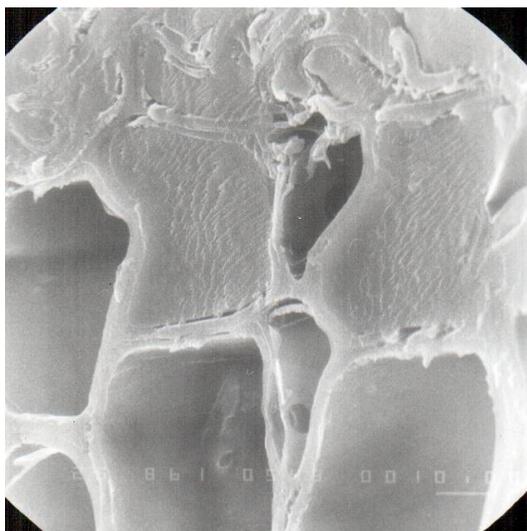
Одной из проблем современной науки о древесине и её переработке является создание адекватной модели древесины как капиллярно-пористого деформируемого тела. При этом древесина рассматривается как неоднородная пористая среда, в которой при её технологической обработке имеют место взаимодействия с твердыми телами, жидкостями и газами.

Совместное воздействие на пористый материал деформационных, тепловых и фильтрационных нагрузок существенно меняет физические законы и геометрические соотношения, управляющие этими процессами в отдельности – законы Гука, Дарси, Фурье, уравнения равновесия и сплошности. В результате возникает система нелинейных уравнений, определяющая математическую модель древесины как капиллярно-пористого, вязкоупругого материала, взаимодействующего с жидкостью, газом. В сочетании с краевыми условиями, задаваемыми на подвижных границах (задача Стефана), с учетом наследственного характера деформаций, эти уравнения позволят изучать процессы обработки древесины. В этой модели для оценки пористости древесины может быть использована теория фракталов, а для оценки разрушения – теория трещин.

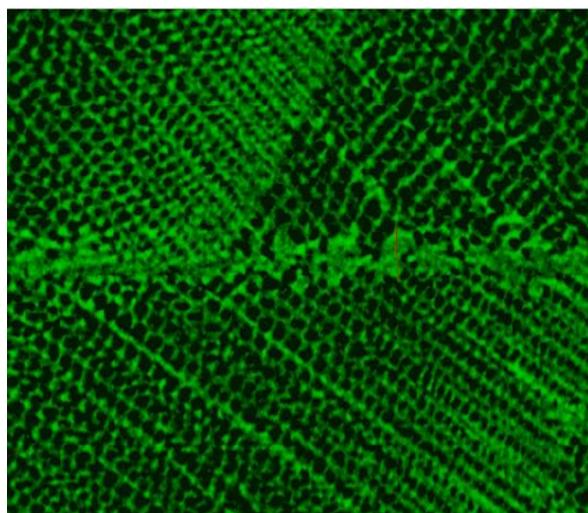
Разработанные на основе этой модели методики могут быть использованы при проектировании новых и управлении существующими технологическими процессами гидро- и пьезотермической обработки древесины и древесных материалов, взаимодействия твердой и жидких фаз при формировании древесных материалов, их склеивании и отделке (облицовывании), что, в конечном итоге, позволит получать продукцию с заранее заданными свойствами, с учетом специфики свойств древесины и её строения, повысить эффективность производства.

Студенту необходимо знать, что в последние годы важной является проблема создания систем управления качеством продукции и интеллектуальной поддержки инженерных решений. Эти системы предназначены для исследования на ПК таких практических ситуаций, которые анализируются экспертами с учетом накопленного ими опыта, знаний и интуиции. Реально воплотимой сегодня является система многовариантного проектирования технологии, которая позволяет разработать несколько вариантов процесса, а затем выбрать оптимальный, базирующийся на объективной, либо экспертной оценке конкурирующих вариантов.

Далее студент переходит к изучению современных методов и средств научного поиска в области древесиноведения и механической обработки древесины: компьютерной (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ), сканирующей электронной микроскопии, термомеханического анализа, дифференциально-термического анализа, ИК-спектроскопии, ультразвуковых методов анализа, тепловидения, моделирования и обработки данных с использованием специализированных компьютерных программах и др., позволяющих глубже изучить строение древесины, увидеть скрытые пороки (рис. 7-11), что, в свою очередь, дает возможность правильного выбора технологии обработки и обоснования возможных областей применения древесины.



а)



б)

Рис. 7. Исследование структуры клеевого соединения на сканирующем электронном микроскопе (а) и методом компьютерной томографии (б)

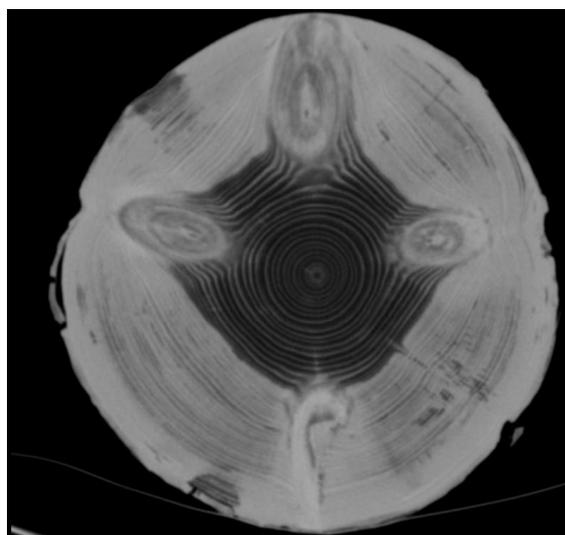


Рис. 8. Поперечный разрез древесины сосны, полученный методом КТ (установление скрытых сучков)

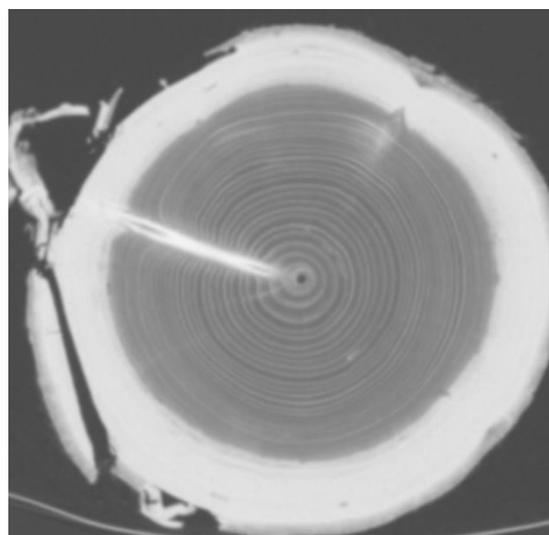


Рис. 9. Поперечный разрез древесины ели, полученный методом КТ (установление структуры древесины на поперечном срезе)

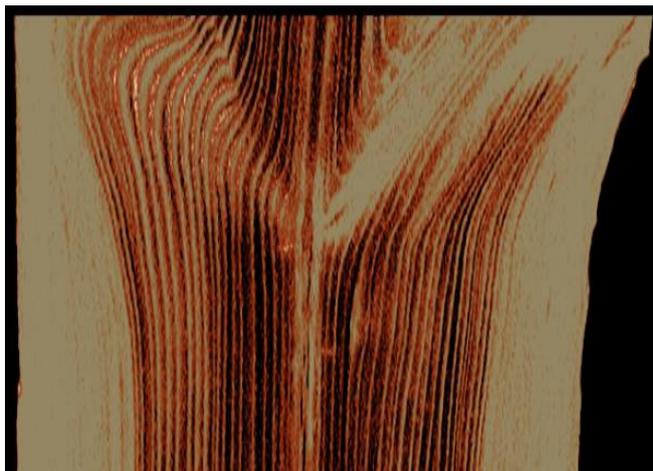


Рис. 10. Продольный разрез древесины сосны полученный методом КТ (определение текстуры древесины при строгании шпона)

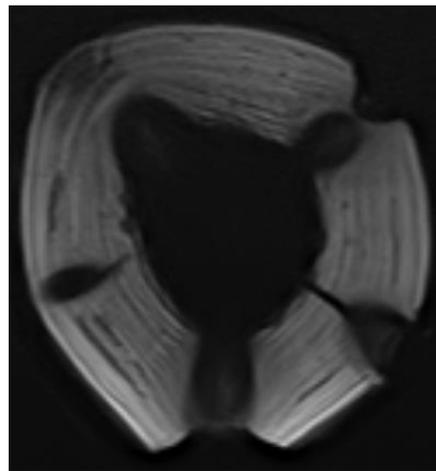


Рис. 11. Определение изменения интенсивности сигнала в зависимости от влажности разных частей ствола дерева (при исследовании методом МРТ)

5. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Тиме И.А. Сопротивление металла и дерева резанию. М., 1870.
2. Афанасьев П.А. Курс механической технологии дерева. М., 1886.
3. Дешевой М.А. Механическая технология дерева. Т.1, Л., 1934.
4. Воскресенский С.А. Резание древесины. М. – Л., 1955.
5. Бершадский А.Л. Резание древесины. М. – Л., 1956.
6. Грубе А.Э. Дереворежущие инструменты. М., 1971.
7. Грубе А.Э., Санев В.И. Основы теории и расчета деревообрабатывающих станков, машин и автоматических линий. М., 1973.
8. Лыков А.В. Теория адгезии. М., 1968.
9. Кречетов И.В. Сушка древесины. М., 1980.
10. Чудинов Б.С. Теория тепловой обработки древесины. М., 1968.
11. Серговский П.С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М., 1975.
12. Соколов П.В., Харитонов Г.М. Лесосушильные камеры. М., 1980.
13. Горшин С.Н. Атмосферная сушка пиломатериалов. М., 1971.

14. Куликов В.А., Чубов А.Б. Технология клееных материалов и плит. М.: Лесная промышленность, 1984.
15. Пижурин А.А., Пижурин А.А. Основы научных исследований в деревообработке. М.: МГУЛ, 2005.
16. Москвитин М.И. Физико-химические основы процессов склеивания и прилипания. М.: Лесная промышленность, 1974.
17. Чубинский А.Н., Ермолаев Б.В., Волков А.В. Физико-химические основы технологических процессов деревообработки. СПб.: СПб ГЛТА, 1997.
18. Израелит А.Б. Оптимизация конструктивных форм гнуклееных изделий из шпона. М.: Лесная промышленность, 1977.
19. Научные и научно-технические издания: Лесной журнал, Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, Вестник МГУЛ, Леспроминформ, Дерево.RU, Деревообрабатывающая промышленность и др.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Основные принципы формирования ассортимента и технической стратегии деревообрабатывающих производств
2. Тенденции развития способов обработки древесины резанием
3. Направления развития отрасли на принципах востребованности продукции и анализа лесосырьевой базы.
4. Применение фундаментальных законом Фурье, Дарси и Фика для обоснования технологии тепловой обработки древесины
5. Направления использования маловостребованных пород древесины, полного использования биомассы дерева
6. Тенденции развития способов гидротермической обработки древесины
7. Перспективы развития деревообработки и направления научного поиска
8. Применение фундаментального закона Гука, теорий наследственности «связанного деформирования и фильтрации, фракталов для обоснования технологий пьезотермической обработки древесины»
9. Принципы обоснования технологии обработки древесины на основе ее строения и свойств
10. Современные методы, методики и средства научного поиска: электронная сканирующая микроскопия, термомеханический анализ, ультразвуковой анализ, магнитно-резонансная и компьютерная томография, тепловидение

11. Релаксационные состояния высокомолекулярных соединений. Изменение свойств древесины при нагревании
12. Моделирование процессов и явлений при обработке древесины для анализа их физической сущности
13. Моделирование древесины как капиллярно-пористого деформируемого тела
14. Тенденции развития способов защиты древесины
15. Принципы формирования качества древостоя в период роста древесины
16. Тенденции развития пьезотермической обработки древесины
17. Применение теории адгезии для обоснования технологии склеивания и отделки древесины
18. Опыт развития ассортимента продукции из древесины и технологий их изготовления в различных странах мира
19. Обоснование необходимости вовлечения маловостребованных пород древесины в промышленное производство
20. Тенденции развития способов сушки древесины
21. Обоснование необходимости разделки хлыстов на сортименты по качественным характеристикам
22. Основные направления технического развития переработки древесины
23. Обоснование технологий обработки древесины с учетом ее физических свойств
24. Основные направления использования отходов деревоперерабатывающих производств

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Введение.....	3
1. Общие методические указания по изучению курса.....	5
2. Тематическое содержание дисциплины.....	6
3. Рекомендуемая литература.....	7
4. Методические указания по изучению дисциплины.....	7
5. Дополнительная литература по изучению дисциплины.....	27
6. Контрольные вопросы по дисциплине.....	28

Анатолий Николаевич Чубинский

Екатерина Николаевна Кандакова

Александр Алексеевич Тамби

**Актуальные проблемы технологических процессов
лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств**

**Актуальные проблемы технологических процессов
деревоперерабатывающих производств**

Методические указания по изучению дисциплины «Актуальные проблемы технологических процессов деревоперерабатывающих производств» для студентов, обучающихся по направлению 35.04.02