

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**С. П. Мохов, П. А. Протас, Ю. И. Мисуно**

## **КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ**

*Рекомендовано*

*учебно-методическим объединением в области  
природопользования и лесного хозяйства в качестве  
учебно-методического пособия*

*для студентов учреждений высшего образования  
по специальностям 1-46 01 01 «Лесная инженерия  
и логистическая инфраструктура лесного комплекса»,  
1-25 01 07 «Экономика и управление на предприятии»  
специализации 1-25 01 07 16 «Экономика и управление  
на предприятии лесного комплекса»*

Минск 2023

УДК 674.8(076.5)(075.8)

ББК 37.130.9я73

М86

Рецензенты:

кафедра энергоэффективных технологий  
Международного государственного экологического института  
имени А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета  
(доцент кафедры кандидат технических наук, доцент *В. А. Пащинский*);  
профессор кафедры «Автомобили» Белорусского национального  
технического университета доктор технических наук,  
доцент *Ю. Д. Карпиевич*

*Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или ее части не может быть осуществлено без разрешения учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».*

**Мохов, С. П.**

М86 Комплексное использование древесного сырья : учеб.-метод.  
пособие для студентов специальностей 1-46 01 01 «Лесная ин-  
женерная и логистическая инфраструктура лесного комплекса»,  
1-25 01 07 «Экономика и управление на предприятии» специа-  
лизации 1-25 01 07 16 «Экономика и управление на предприя-  
тии лесного комплекса» / С. П. Мохов, П. А. Протас,  
Ю. И. Мисуно. – Минск : БГТУ, 2022. – 265 с.

ISBN 978-985-897-069-7.

Учебно-методическое пособие содержит материал для ознаком-  
ления с основными направлениями комплексного использования  
древесного сырья. Детально рассматриваются вопросы производства  
топливной и технологической щепы, энергетического использования  
древесной биомассы, оценки эффективных способов переработки дре-  
весных отходов, производства композитных строительных материалов  
с древесным наполнителем.

УДК 674.8(076.5)(075.8)

ББК 37.130.9я73

ISBN 978-985-897-069-7

© УО «Белорусский государственный  
технологический университет», 2023

© Мохов С. П., Протас П. А.,  
Мисуно Ю. И., 2023

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из важнейших направлений развития лесопромышленного производства Республики Беларусь является рациональное и полное использование древесного сырья. Обладая значительным запасом данного ресурса, в настоящее время лесная отрасль стремится обеспечить его заготовку и переработку с применением эффективных малоотходных и безотходных технологий. А это, в свою очередь, невозможно без развития направлений комплексного использования древесных отходов и низкокачественного древесного сырья и внедрения производств по их переработке.

Предпосылками для развития данного направления лесной промышленности являются следующие факторы.

Во-первых, древесное сырье – это востребованный ресурс для многих видов производства, начиная от лесопиления и заканчивая лесохимической переработкой древесины. Удовлетворение потребностей народного хозяйства в данном ресурсе без вовлечения в некоторые виды производства вторичных древесных ресурсов может привести к быстрому истощению лесных запасов. В соответствии с действующими принципами неистощительного и рационального лесопользования, объемы изъятия древесных ресурсов ограничены, потому для снижения риска возникновения нехватки ресурса, где это возможно, необходимо использовать древесные отходы и вторичное древесное сырье.

Во-вторых, благодаря развитию некоторых видов технологий древесные ресурсы позволяют заменить ископаемые и невозобновляемые материалы во многих отраслях. Ярким примером служит замена ископаемого топлива на древесное. В большинстве стран использование древесного топлива для получения тепловой и электрической энергии позволило сократить потребление нефти и газа. Это способствует не только повышению энергетической безопасности стран, но, самое главное, снижению негативного влияния на окружающую среду. Более того, если до недавнего времени основным видом потребляемого топлива являлась топливная щепка или спрессованные пеллеты и брикеты, то повышенный интерес к возобновляемому древесному ресурсу поспособствовал скорейшему развитию производств для получения биогаза и биодизеля.

Еще одним примером замещения является развитие деревянного домостроения. Речь уже не идет о применении цельной древесины в строительстве. Новым трендом в мировой практике стало использование «инженерной древесины» – структурно оптимизированных строительных материалов на основе древесины. Благодаря этому номенклатура строительных материалов из древесного сырья значительно расширилась и позволяет заменить традиционные бетонные и железобетонные материалы при возведении зданий, в том числе и многоэтажных.

В-третьих, предпосылкой для развития комплексного использования древесного сырья является социально-экономический фактор. Вовлечение дополнительных древесных ресурсов способствует открытию новых производств, в особенности это касается сельской местности и небольших населенных пунктов, которые находятся в непосредственной близости от источников сырья. Такие производства создают новые рабочие места, способствуют развитию инфраструктуры и экономики региона, а при экспортной ориентированности производства – привлечению валюты в бюджет страны.

Данное учебно-методическое пособие разработано для изучения дисциплины «Комплексное использование древесного сырья», целью которой является изучение видов древесных отходов, их основных характеристик и свойств, направлений использования, технологий и оборудования для их переработки, основных экономических аспектов и целесообразности внедрения на предприятиях производств с комплексной переработкой древесного сырья. Эти вопросы будут рассмотрены в теоретической части данного пособия.

В практической части учебно-методического пособия изложены методики проведения лабораторных занятий, в рамках которых студенты смогут изучить следующие вопросы:

- виды и классификация древесных отходов, области их применения;
- технологии производства строительных и композитных материалов на основе использования древесных отходов;
- лабораторные методы оценки качественных характеристик как древесных отходов, так и продукции, полученной из данного вида сырья;



– энергетическое использование древесных отходов и др.

Содержание и объем учебно-методического пособия по учебной дисциплине «Комплексное использование древесного сырья» соответствуют образовательному стандарту для специальностей 1-46 01 01 «Лесная инженерная и логистическая инфраструктура лесного комплекса», 1-25 01 07 «Экономика и управление на предприятии» специализации 1-25 01 07 16 «Экономика и управление на предприятии лесного комплекса», учебным планам и учебно-программной документации.

Предисловие написано кандидатом технических наук, доцентом Моховым С. П., первая, теоретическая часть пособия – кандидатом технических наук, доцентом Протасом П. А. совместно с С. П. Моховым; вторая, практическая часть – П. А. Протасом и ассистентом Мисуно Ю. И.

Авторы выражают признательность рецензентам: доктору технических наук, доценту, профессору кафедры «Автомобили» Белорусского национального технического университета Карпиевичу Ю. Д. и коллективу кафедры энергоэффективных технологий Международного государственного экологического института имени Сахарова А. Д. Белорусского государственного университета, в частности доценту кафедры кандидату технических наук, доценту Пашинскому В. А.

Авторы заранее признательны читателям, которые сочтут возможным прислать свои замечания и пожелания по учебно-методическому пособию по адресу: 220006, Минск, ул. Свердлова, 13а, Белорусский государственный технологический университет, кафедра лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства.

# ЧАСТЬ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ

## Раздел 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ

Республика Беларусь располагает весомым потенциалом лесосырьевых ресурсов, использование которого имеет большое значение для устойчивого социально-экономического развития страны, обеспечения ее экономической, энергетической, экологической и продовольственной безопасности. Леса являются одним из основных возобновляемых природных ресурсов и важнейших национальных богатств.

Общая площадь государственного лесного фонда страны по состоянию на 1 января 2023 г. составила 9,7 млн га, из нее площадь, покрытая лесом, – 8,335 млн га, лесистость территории – 40,1%, запас древесины на корню превышает 1,91 млрд м<sup>3</sup>. Средний запас насаждений на 1 га покрытых лесом земель – 228 м<sup>3</sup>, спелых и перестойных для основных лесобразующих пород – 281 м<sup>3</sup>. Общая стоимость лесных ресурсов республики на 01.01.2023 составила 32 млрд руб., в том числе стоимость стволовой древесины – 13,7 млрд руб. (42,8%).

В ведении Минлесхоза находится 89% площадей лесного фонда, Управления делами Президента Республики Беларусь – 7,9%, Министерства по чрезвычайным ситуациям – 2,2%, Национальной академии наук Беларуси (Института леса) – 0,4%, Министерства образования – 0,3%, местных исполнительных и распорядительных органов – 0,2% [1].

Сырьевое обеспечение страны древесиной можно представить в виде динамики заготовки древесины по видам рубок с 2016 по 2021 г. (рис. X1.1). В последние годы прослеживается тенденция увеличения объемов заготовки древесины. По итогам работы за 2022 г. в лесах республики заготовлено 26,41 млн м<sup>3</sup>.

Организациями Министерства лесного хозяйства выполняется основная стратегическая задача – обеспечение круглой древесинной организацией деревообрабатывающей промышленности республики, имеющих передовые технологии переработки, осуществляющих комплексное использование древесины, производство которых ориентировано на выпуск экспортной продукции [2]. К таким предприятиям относятся организации концерна «Беллесбумпром», а также частные иностранные компании ИООО «ВМГ Индустри», ИООО «Кроноспан», ИООО «СВУДС экспорт» и др.

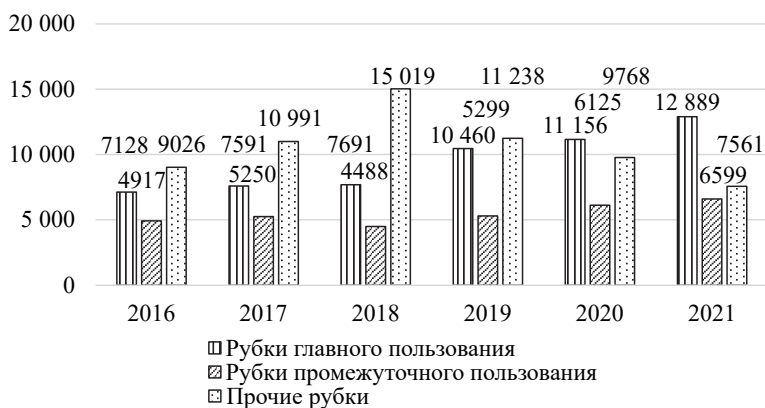


Рис. X1.1. Динамика заготовки древесины по видам рубок, тыс. м<sup>3</sup>

Обеспечивая потребности в древесине деревообрабатывающих предприятий республики, Минлесхоз с целью производства продукции с высокой добавленной стоимостью и повышения экспортной составляющей в лесохозяйственных учреждениях осуществляет переработку древесины на собственных производствах, которые включают лесопиление, выпуск оцилиндрованных изделий, древесной щепы, пеллет и др. (рис. X1.2). Наличие данных производств в системе Минлесхоза позволяет обеспечить занятостью и гарантированным заработком более 3,5 тыс. человек, проживающих в малых городах и сельской местности.

В результате работы данных производств объем выпуска товарной продукции увеличился с 263,4 млн руб. в 2018 г. до 432,8 млн руб. в 2020 г. и 799,8 млн руб. в 2021 г.

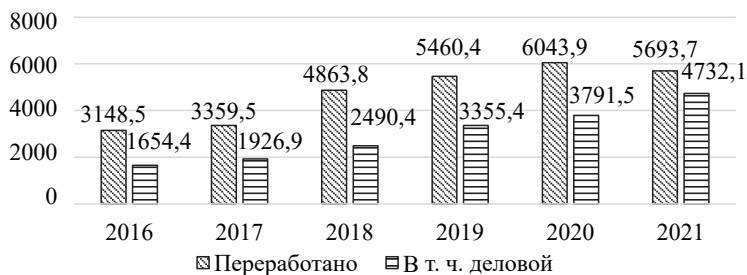


Рис. X1.2. Переработка древесины в цехах Министерства лесного хозяйства, тыс. м³

На рис. X1.3 представлена динамика структуры экспорта древесной продукции по данным Минлесхоза [3]. Как можно видеть из данного графика, запрет экспорта круглых лесоматериалов, введенный в 2018 г., поспособствовал увеличению объемов переработки древесины, в основном за счет производства пиломатериалов с 31% в 2015 г. до 65,5% в 2020 г.

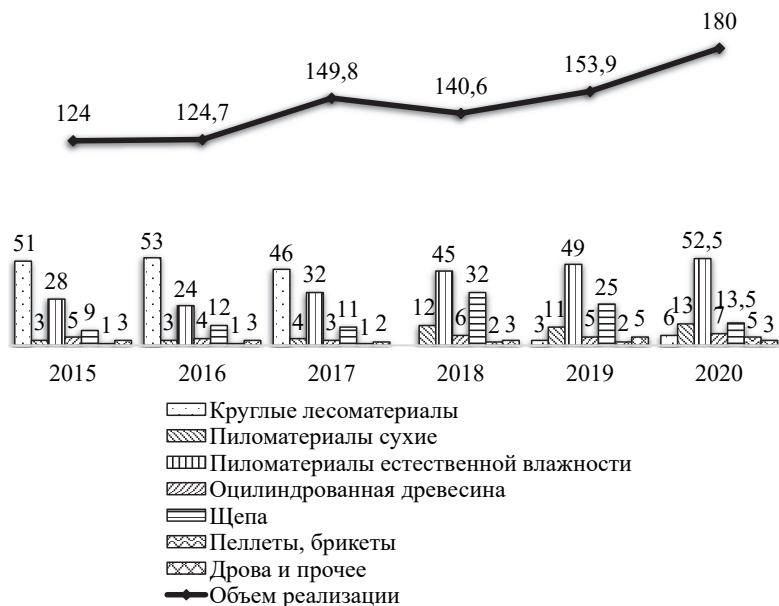


Рис. X1.3. Динамика структуры экспорта продукции, процент и объем реализации, млн долл. США

В 2020 и 2021 гг. предприятиями Минлесхоза поставлено на экспорт лесопродукции и оказано услуг на сумму 185,02 и 272,3 млн долл. США соответственно, что составило 120,2 и 176,9% к 2019 г.

По итогам работы в 2020 г. деревообрабатывающими цехами переработано 5,69 млн м<sup>3</sup> древесины, или 94,2% к уровню прошлого года.

В настоящее время в системе Минлесхоза осуществляет деревообрабатывающую деятельность 90 производств. Для повышения производственных мощностей и их эффективности ежегодно реализуются проекты по их техническому оснащению деревообрабатывающих производств Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь. На техническое переоснащение деревообрабатывающих производств только в 2019 г. направлено денежных средств на сумму 54,3 млн руб. Реализован 61 проект, в том числе по направлениям: модернизация лесопильных производств – 25 проектов; установка линии сортировки древесины – 1 проект, ленточнопильное оборудование – 4 проекта, установка позиционного оборудования – 25 проектов; создание производств по выпуску сушеной продукции – 4 проекта, установка оборудования по выпуску пиломатериалов на базе углопильно-круглопильных станков – 2 проекта.

Одной из основных задач, которые решаются на предприятиях Минлесхоза, является вовлечение в процесс переработки мелкотоварной и низкокачественной древесины, а также отходов лесозаготовительного и лесопильного производства. Для решения данной задачи в 2021 г. было реализовано 28 проектов по модернизации мощностей по переработке низкотоварной древесины на сумму 109 млн руб. (рис. X1.4) [4].



Рис. X1.4. Созданные мощности по переработке низкотоварной древесины в системе Минлесхоза в 2021 г.

В соответствии с балансом ресурсов деловой древесины по состоянию на 01.01.2022 г. в целом по Республике Беларусь объем невостребованной заготовленной и нереализованной древесины составлял 1,691 млн м<sup>3</sup>. На начало 2021 г. данный объем был равен 1,825 млн м<sup>3</sup>, из которых порядка 820 тыс. м<sup>3</sup> составляло сырье древесное технологическое и 150 тыс. м<sup>3</sup> – балансовая древесина. С учетом того, что запасы свободной дровяной древесины оцениваются в 0,8 млн м<sup>3</sup>, в ближайшее время имеется объем ресурсов для обеспечения создаваемых мощностей производств по выпуску древесного топлива (пеллет) [2]. Однако при дальнейшей интенсивности роста потребления древесного сырья в республике его ресурс может оказаться недостаточным, что требует более глубокого анализа и исследований в данной области.

В соответствии с Программой развития в Республике Беларусь пеллетных производств [2] с 2019 по 2022 г. в системе Министерства лесного хозяйства запланировано строительство 12 предприятий по производству топливных гранул. В 2020 г. было введено в эксплуатацию 7 пеллетных заводов с суммарной производственной мощностью 165 тыс. т пеллет в год, в 2021 г. – 6 заводов с суммарной мощностью 100 тыс. т и годовым потреблением древесных ресурсов в объеме 278 тыс. м<sup>3</sup> [4].

В лесхозах отрасли действует 85 производств по изготовлению древесной щепы суммарной мощностью 2,3 млн м<sup>3</sup> в год и 23 производства – дров колотых мощностью 30 тыс. м<sup>3</sup> в год. Объем производства топливной щепы в 2020 г. составил 2,321 млн м<sup>3</sup>, в 2021 г. – 2,390 млн м<sup>3</sup>.

В рамках развития пеллетного производства в концерне «Беллесбумпром» в Витебской области предприятие ООО «Акитама» реализует инвестиционный проект, направленный на вовлечение в переработку низкосортной древесины. Планируется создать крупнейший в Беларуси завод мощностью более 135 тыс. т топливных гранул в год. Объем инвестиций – 24 млн евро. Число рабочих мест – 50 человек. Период реализации проекта 2021–2025 гг. [5].

Объем производства щепы топливной в Беларуси в 2019 г. составил 3090,8 тыс. м<sup>3</sup>, или 134,4% от задания Госпрограммы [6].

В настоящее время в Беларуси имеются мощности по заготовке более 10 млн м<sup>3</sup> дровяной древесины и производству более

3 млн м<sup>3</sup> в год древесной топливной щепы. В соответствии с Госпрограммой «Белорусский лес» на 2021–2025 гг. в системе Минлесхоза запланировано увеличение объемов производства топливной щепы до 2,1 млн м<sup>3</sup> к 2025 г.

Несмотря на принимаемые меры по увеличению объемов переработки древесины внутри страны, существует проблема наращивания остатков древесины. Анализ показывает, что действующие деревообрабатывающие мощности в республике в состоянии переработать весь объем заготавливаемой высококачественной древесины.

На предприятиях концерна «Беллесбумпром» обеспечивается комплексная безотходная переработка древесных ресурсов и получение высоколиквидной готовой продукции. Основная специализация – производство различных древесных плит (ДСП, МДФ/ХДФ), фанеры, мебели, готовых строительных конструкций, картонно-бумажной продукции и иных товаров, при изготовлении которых генерируется максимальный экономический эффект.

Появление современных деревообрабатывающих производств стало толчком для открытия предприятий, занимающихся последней переработкой данной продукции. Так, после модернизации плитных заводов и расширения ассортимента древесных плит в Беларуси получили развитие мебельные производства. Их количество с 2006 г. (начала модернизации) выросло в два раза – с 600 до 1300 организаций. Такая же стратегия выстроена в концерне «Беллесбумпром» по развитию целлюлозно-бумажной отрасли [5].

В целом показатели производства продукции в концерне «Беллесбумпром» в 2021 г. демонстрируют положительную динамику. Так, выпуск мебели за январь – сентябрь 2021 г. по отношению к аналогичному периоду 2020 г. вырос на 40%, древесноволокнистых плит – почти на 20%, древесно-стружечных – примерно на 6%, фанеры – почти на 4%, целлюлозы – на 6%, бумаги и картона – на 5% [5].

При характеристике современного состояния заготовок древесины в лесах Беларуси следует сделать следующие выводы:

– отсутствуют производства по переработке низкокачественной древесины, являющейся сопутствующей продукцией при заготовке сырья, необходимого для эффективной работы организаций деревообрабатывающей промышленности;

– накопление остатков низкокачественной древесины происходит при выполнении санитарных правил, связанных с необходимостью проведения рубок в поврежденных стволовыми вредителями насаждениях, где доля низкокачественного сырья в 2–3 раза выше, чем при проведении плановых рубок [2].

Для обеспечения эффективного использования имеющихся лесных ресурсов и сокращения остатков низкокачественной древесины одним из основных направлений дальнейшего развития отрасли должно стать внедрение производств с углубленной переработкой древесного сырья, где в качестве сырья должны выступать невостребованная низкокачественная древесины и древесные отходы.

Согласно Государственной программе «Белорусский лес» на 2021–2025 гг., для развития деревообрабатывающей отрасли и повышения ее эффективности предусмотрен ряд мероприятий, некоторые из них представлены ниже:

– развитие (создание) производств по выпуску строительных и столярных деревянных изделий, профилированной и инженерной древесины, погонажных изделий из массива и MDF, увеличение доли экспорта данной продукции в общем объеме ее производства;

– стимулирование развития отечественной индустрии малоэтажного деревянного домостроения (деревянные дома различного типа, унифицированные деревянные конструкции) для использования в региональном строительстве поселков и микрорайонов;

– развитие (создание) производств по выпуску экотоваров (специальных видов упаковочной бумаги) для формирования в республике упаковочной индустрии и реализации принципа «eco-friendly» (безопасный для экологии) в рамках государственной экологической политики;

– партнерство государственного и частного бизнеса в программе импортозамещения товаров народного потребления и изделий, необходимых для выпуска отечественной продукции глубокой переработки древесины, а также формирование условий для создания кластера мебельных и иных производителей в республике, в том числе за счет развития сопутствующих импортозамещающих производств, позволяющих снизить долю импортных сырья и материалов в структуре выпуска товаров;

– стимулирование организаций среднего и малого бизнеса к увеличению объемов переработки:



- а) отечественных пиломатериалов для получения деревянных погонажных изделий;
- б) плитной продукции для получения мебели и мебельной фурнитуры;
- в) метизов, мелованного и немелованного картона для получения упаковочной продукции;
- г) бумаги-основы санитарно-гигиенического назначения для получения изделий;
  - создание новых и развитие имеющихся биоэнергетических производств по выпуску древесного топлива (гранул и брикетов), позволяющих обеспечить комплексную переработку мелкотоварной и низкокачественной древесины, получаемой от лесозаготовки и из отходов производства.

### **1.1. Основные направления комплексного использования древесного сырья**

Древесина служит в народном хозяйстве исходным сырьем для выработки более 20 тыс. продуктов и изделий. Способы переработки древесного сырья классифицируют на три основные группы: механические, химико-механические и химические. Различна степень превращения древесины в конечный продукт. В одних технологических процессах она сохраняет свои исходные физико-механические свойства, макро- и микроструктуру, в других – используется как источник волокнистого сырья, в-третьих – как химическое сырье.

*Механическая переработка* древесины заключается в изменении ее форм пилением, строганием, фрезерованием, лущением, точением, сверлением, раскалыванием. В результате механической обработки получают разнообразные товары народного потребления и промышленного назначения, продукцию и сырье для смежных перерабатывающих отраслей промышленности. Механическим истиранием древесины получают волокнистые полуфабрикаты.

При *химико-механической переработке* получают промежуточный продукт из древесины, однородный по составу и размерам, – специально резаную стружку, дробленку, шпон. Промежуточный продукт, получаемый механическим способом, покрывают синтетическим связующим веществом. Под действием температуры

и давления происходит реакция полимеризации связующего, в результате чего промежуточный древесный продукт прочно склеивается. В качестве связующего вещества может быть использован цемент и другие минеральные вяжущие вещества. При химико-механической переработке получают фанеру, столярные, древесностружечные и цементно-стружечные плиты, арболит и фибролит. Химико-механический способ используют при получении волокнистых полуфабрикатов в целлюлозно-бумажной промышленности.

Одно из направлений химико-механической переработки состоит в получении модифицированной древесины. Наиболее простой способ улучшения природных свойств древесины – увеличение ее плотности прессованием, называют термомеханическим модифицированием. Заготовки в виде брусков, досок, стержней или цилиндров уплотняют в пресс-формах под давлением до 70 МПа. Механическое воздействие может сочетаться с нагревом, пропаркой, пропиткой древесины минеральными маслами или смолами. Комбинированное механическое, термическое и химическое воздействие вызывает изменения физических свойств и химического состава древесины, в результате чего повышается ее пластичность и улучшаются условия прессования. Получаемые материалы обладают стабильностью формы и размеров, высокими показателями физико-механических свойств, примерно пропорциональных степени уплотнения.

**Химическая переработка** древесины осуществляется термическим разложением, воздействием на нее растворителей, щелочей, кислот, кислых солей сернистой кислоты. Термическое разложение, или пиролиз древесины, осуществляется ее нагреванием древесины при высокой температуре без доступа воздуха. При пиролизе получают твердые, жидкие и газообразные продукты. Из них наибольшее практическое значение в народном хозяйстве имеет древесный уголь.

При помощи растворителей из древесины, предварительно измельченной в щепу, извлекают различные экстрактивные вещества. При экстракции водой получают дубители. Клеящие свойства камеди, извлекаемой водой из древесины лиственницы, используются в полиграфической, текстильной и спичечной промышленности. При экстракции бензином пневого осмола, измельченного в щепу, из древесины наиболее экономным способом извлекают канифоль.

Этот ценный продукт широко используют для получения высококачественной бумаги, как заменитель жиров в мыловарении, для производства лаков, линолеума, резины, электротехнических и других изделий.

При обработке хвойной древесины слабыми растворами щелочей без давления из нее извлекают смолистые вещества и небольшое количество лигнина, гемицеллюлоз. При длительном нагревании древесины под давлением с концентрированными растворами щелочей, взятыми в избытке, происходит ее полное разложение. Продуктами разложения являются газы, смола, уксусная и муравьиная кислоты. Значительное количество этих кислот образуется при окислении древесины кислородом воздуха в слабощелочной среде под давлением [7].

При варке измельченной в щепу древесины с 5–15%-ным водным раствором едкого натра, часто с добавлением сернистого натрия, большая часть лигнина растворяется и получается волокнистая целлюлоза – натронная или сульфатная. Сульфитную целлюлозу получают при обработке древесины раствором кислых солей сернистой кислоты. В присутствии свободного сернистого ангидрида лигнин растворяется под действием давления и высокой температуры. Как и при натронной варке, получается волокнистая масса – целлюлоза. Кислоты оказывают разрушающее гидролизующее действие на древесину, что лежит в основе гидролизного процесса производства глюкозы, ксилита, спирта. Большое значение приобретают кормовые дрожжи, полученные на гидролизных и целлюлозных предприятиях из углеводов, содержащихся в гидролизатах и сульфитных щелочах. Гидролизом лиственной древесины, разбавленной кислотой или водой под давлением, получают фурфурол.

Основными потребителями древесного сырья, поставляемого лесозаготовительной промышленностью, являются лесопильные, целлюлозно-бумажные, плитные и фанерные предприятия. С развитием экономики страны структура потребления древесины постоянно изменяется. Ранее значительным было использование круглых необработанных лесоматериалов. Затем преобладающим стало использование древесины в лесопилении, где объемы перерабатываемого сырья теперь стабилизировались. Ныне наиболее интенсивно растет использование измельченного древесного сырья

в виде технологической щепы, которая широко применяется в производстве целлюлозы, бумаги, картона, древесностружечных и древесноволокнистых плит. Потребление древесины для выработки этих видов продукции возрастает в 2 раза примерно каждые 10 лет и в перспективе достигнет около половины объема всего заготавливаемого сырья.

Изменения в структуре потребления древесины вызывают соответствующие изменения в поставке лесоматериалов. Быстрыми темпами нарастает производство щепы, которую справедливо называют «строительным камнем» будущей лесной индустрии. Щепа является основой комплексного использования древесины. Она открывает неограниченные возможности для утилизации практически любого древесного сырья, включая нетранспортабельные отходы и вторичное сырье, например тарноупаковочные материалы, скапливающиеся в больших количествах в городах. Процесс производства щепы может осуществляться на любой стадии заготовки и обработки древесины, начиная от измельчения в лесу целых деревьев до переработки отходов.

Успешно развивается производство щепы мобильными рубильными машинами. На лесных складах в щепу перерабатывают не находившую сбыта низкокачественную древесину не только хвойных, но и мягколиственных пород. В лесопилении широкое признание получили фрезерно-брусующие станки для одновременного производства бруса и щепы. Значение их особенно велико для тонкомерной (диаметром от 6–8 см) древесины, которая ранее не могла быть использована как пиловочное сырье.

Щепа открывает новые возможности не только в сферах заготовки и переработки древесного сырья, но и его транспорте. Измельченную в щепу древесину можно сплавлять в специальных капсулах, благодаря чему из глубинных лесных районов можно доставлять потребителю всю биомассу дерева любых пород.

Появилась возможность создать промышленные плантации леса с применением короткого оборота рубок. Преимуществом плантационных насаждений является не только более высокая производительность 1 га леса. Размещение плантаций вблизи перерабатывающих предприятий позволит бесперебойно снабжать их древесным сырьем при меньших затратах на его заготовку и транспортировку.

## 1.2. Международная практика использования древесного сырья

Общая площадь лесов в мире составляет 4,06 млрд га, или 31% от общей площади суши. Более половины (54%) лесов мира приходится всего на пять стран: Российскую Федерацию, Бразилию, Канаду, Соединенные Штаты Америки и Китай (рис. X1.5) [8].

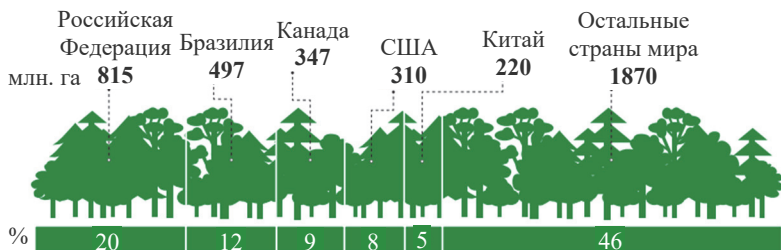


Рис. X1.5. Распределение лесных территорий

В результате чистого сокращения площади лесов общемировые запасы древостоя также несколько сократились – с 560 млрд м<sup>3</sup> в 1990 до 557 млрд м<sup>3</sup> в 2020 г. В то же время в мире и во всех его регионах увеличивается запас древостоя на единицу площади: этот показатель вырос с 132 м<sup>3</sup>/га в 1990 г. до 137 м<sup>3</sup>/га в 2020 г. Леса мира содержат около 606 Гт живой биомассы (надземной и подземной) и 59 Гт мертвой древесины. С 1990 г. общий объем биомассы незначительно уменьшился, при этом увеличился объем биомассы на единицу площади.

Во всем мире около 1,15 млрд га лесов используются в первую очередь для производства древесной и недревесной лесной продукции. Кроме того, 749 млн га предназначены для многоцелевого применения, которое зачастую включает производство. С 1990 г. площадь лесов, используемых главным образом в производственных целях, во всем мире практически не изменилась, в то время как площадь лесов многоцелевого использования сократилась примерно на 71 млн га [8].

Площадь сертифицированных лесов во всем мире в 2021 г. увеличилась на 1,85% (8,4 млн га) до 463 млн га, что является новым историческим максимумом. Две основные международные системы лесной сертификации, FSC и PEFC, сообщают, что по

состоянию на декабрь 2021 г. общая площадь сертифицированных лесов составляет 558 млн га, в том числе 95 млн га лесных площадей, сертифицированных по обеим схемам сертификации) [9].

Общий объем заготовки древесины в регионе ЕЭК ООН<sup>1</sup> в 2020 г. сократился на 3,4% до 1,40 млрд м<sup>3</sup>, из которых 82% приходится на деловой круглый лес и 18% на древесное топливо.

Основными потребителями древесного сырья в мире являются страны региона ЕЭК ООН. Потребление делового круглого леса в регионе в 2020 г. составило 1,12 млрд м<sup>3</sup>, из них 229 млн м<sup>3</sup> – лесоматериалы лиственных пород, 895 млн м<sup>3</sup> – хвойных. Потребление делового круглого леса лиственных пород сократилось на 10% с 2009 г., у хвойных пород фиксируется более скромное снижение – на 1,3%.

В 2020 г. общее потребление первичных лесных товаров по всем основным категориям в регионе ЕЭК ООН незначительно сократилось: деловой круглый лес – на 3,3%; пиломатериалы – 1,9%; древесные плиты – 4,3%; бумага и картон – 3,9% (табл. X1.1) [9].

Таблица X1.1

**Потребление делового круглого леса, пиломатериалов, древесных плит, бумаги и картона в странах ЕЭК ООН, 2016–2020 гг. [9]**

Регион	Ед. измер.	Год				
		2016	2017	2018	2019	2020
<i>Деловые круглые лесоматериалы</i>						
Европа	тыс. м <sup>3</sup>	410,2	409,4	440,1	431,2	420,2
ЕЕССА		194,7	198,4	226,3	213,3	211,9
Северная Америка		516,4	513,4	534,3	517,7	491,8
Всего в регионе ЕЭК ООН		1121,3	1121,1	1200,8	1162,2	1123,9
<i>Пиломатериалы</i>						
Европа	тыс. м <sup>3</sup>	107,6	110,8	113,2	110,6	109,5
ЕЕССА		16,7	17,8	16,7	17,9	16,8
Северная Америка		117,6	118,4	120,1	117,1	114,7
Всего в регионе ЕЭК ООН		241,8	247,0	250,0	245,6	241,0

<sup>1</sup> Европейская экономическая комиссия ООН (ЕЭК ООН) – региональная организация Экономического и Социального совета ООН (ЭКОСОС). Это регион, в состав которого входят страны Европы, Северной Америки, Кавказа и Центральной Азии.

Окончание табл. XI.1

Регион	Ед. измер.	Год				
		2016	2017	2018	2019	2020
<i>Панели на древесной основе</i>						
Европа	тыс. м <sup>3</sup>	71,7	74,2	75,9	75,0	71,5
ЕЕССА	тыс. м <sup>3</sup>	16,7	18,4	21,2	19,4	18,2
Северная Америка		54,3	56,6	54,8	55,2	53,4
Всего в регионе ЕЭК ООН		142,7	149,2	151,8	149,6	143,2
<i>Бумага и картон</i>						
Европа	млн. т	88,4	90,0	89,6	86,3	82,7
ЕЕССА		9,6	9,5	1,0	10,1	10,0
Северная Америка		75,6	75,0	74,1	71,5	68,6
Всего в регионе ЕЭК ООН		173,6	174,5	173,6	167,9	161,3

*Примечание.* Пиломатериалы не включают шпалы до 2016 г. Древесные плиты не включают производство шпона.

Регион ЕЭК ООН является крупным экспортером делового круглого леса, и в 2020 г. на его долю приходилось 78% хвойного и 58% лиственного делового круглого леса, продаваемого в мире. Экспорт лесоматериалов в этом регионе составил 93 млн м<sup>3</sup>, что является самым высоким уровнем за 13 лет. Тенденция экспорта за последние пять лет была восходящей для Европы (+53%) и нисходящей для ЕЕССА (-33%) и Северной Америки (-34%). Крупнейшими экспортерами делового круглого леса в регионе ЕЭК ООН являются Чехия, Российская Федерация, Германия, США, Канада, Бельгия, Польша и Норвегия (в порядке убывания объемов).

Объем лесозаготовок в Европе в 2020 г. упал на 2% до 426 млн м<sup>3</sup> после восьмилетнего роста. Наиболее значительное сокращение произошло в Финляндии, Италии, Польше, Австрии и Словакии (в порядке убывания по объему), в основном из-за увеличения импорта лесоматериалов из стран Центральной Европы с большим запасом древесины, поврежденной вредителями и ураганами. Германия была единственной страной в субрегионе, которая существенно увеличила объем заготовок в 2020 г. до рекордных 62 млн м<sup>3</sup>, что соответствует росту на 40% за последние пять лет.

В то же время Европа уже давно является нетто-импортером делового круглого леса хвойных пород. Однако ситуация изменилась в 2019 и 2020 гг., когда экспорт бревен в Китай резко увеличился, а Европа сократила импорт из Российской Федерации. Чистый экспорт субрегиона достиг почти 12 млн м<sup>3</sup> в 2020 г., при этом Китай является основным направлением экспорта за пределами Европы. Однако важно отметить, что резкий рост экспорта в 2019 и 2020 гг. был вызван большим объемом древесины, поврежденной вредителями и ураганами, в Центральной Европе, и, следовательно, большая часть текущей торговли круглыми лесоматериалами носит временный характер и сократится в ближайшие годы.

Помимо заготовки лесоматериалов для промышленных целей, в Европе было заготовлено примерно 143 млн м<sup>3</sup> для топливной древесины, и этот объем практически не изменился по сравнению с 2016 г.

Производство делового круглого леса в странах ЕЕССА в 2020 г. оставалось стабильным по сравнению с предыдущим годом и составило 228 млн м<sup>3</sup>, включая 182 млн м<sup>3</sup> хвойных и 46 млн м<sup>3</sup> лиственных пород. Хотя производство и потребление в целом были стабильными, между странами наблюдались различные тенденции.

Заготовки в Российской Федерации сократились за последние два года и составили примерно 202 млн м<sup>3</sup> в 2020 г. Наибольшее снижение пришлось на деловой круглый лес хвойных пород, что было вызвано снижением экспортного спроса и падением потребления отечественными производителями пиломатериалов хвойных пород. Несмотря на снижение спроса на деловой круглый лес в российской лесной промышленности, в долгосрочной перспективе наблюдается восходящая тенденция. Общее потребление лесоматериалов для промышленных целей в 2020 г. было почти на 50% выше, чем в 2010 г.

Заготовка круглого леса лиственных пород в Российской Федерации в течение последних пяти лет была относительно стабильной и составляла около 40 млн м<sup>3</sup> в год. Чуть более 20% лесозаготовок 2020 г. было экспортировано в виде круглых лесоматериалов на лесопильные заводы Китая и целлюлозные заводы Финляндии и Швеции. Внутреннее потребление лиственных пород в основном



относится к трем секторам: целлюлоза, фанера и прочие деловые круглые лесоматериалы.

Общий объем экспорта делового круглого леса из Российской Федерации несколько увеличился в 2020 г., обратив вспять тенденцию к снижению, которая длилась более десяти лет. Однако за последнее десятилетие сократился только экспорт делового круглого леса хвойных пород: экспорт делового круглого леса лиственных пород неуклонно рос, достигнув 8,1 млн м<sup>3</sup> в 2020 г., что на 80% больше, чем в 2010 г. в Китай, а для бревен – в Финляндию. Всего в 2020 г. Российская Федерация экспортировала 16 млн м<sup>3</sup> делового круглого леса, что составляет почти 12% мирового объема делового круглого леса.

В 2020 г. объем заготовки делового круглого леса в Северной Америке сократился на 5,3% до 370 млн м<sup>3</sup>, что является самым низким показателем за шесть лет, а лесозаготовки в Канаде составили 130 млн м<sup>3</sup>, что является самым низким показателем за 11 лет. Данное снижение отчасти возникло из-за воздействия пандемии COVID-19, которая нарушила цепочки поставок лесоматериалов.

Потребление лиственных пород сократилось гораздо больше, чем хвойного делового круглого леса как в Канаде, так и в Соединенных Штатах. Производство делового круглого леса хвойных пород сократилось на 1,8%. Производство круглого леса лиственных пород резко сократилось – на 17,3% – в 2020 г.

Нехватка рабочей силы в лесном хозяйстве, на транспорте и на перерабатывающих предприятиях привела к сокращению потребления делового круглого леса на 5% в США в 2020 г., хотя спрос на хвойные пиломатериалы и панели был высоким. В Канаде это снижение произошло главным образом из-за сокращения использования делового круглого леса лиственных пород в целлюлозной промышленности. В Соединенных Штатах спрос на пиловочники из лиственных пород резко упал, поскольку производство пиломатериалов из лиственных пород упало до самого низкого уровня с 2010 г. И наоборот, потребление круглого леса из хвойных пород в США в последнее десятилетие, напротив, имело тенденцию к росту, главным образом за счет быстрорастущего лесопильного сектора в южных штатах. В результате использование пиловочника хвойных пород увеличилось с примерно 100 млн м<sup>3</sup> в 2011 г. до чуть более 140 млн м<sup>3</sup> в 2020 г.

Большая часть продаваемого в мире делового круглого леса предназначена для одного рынка – Китая, который в 2020 г. импортировал рекордные 60,2 млн м<sup>3</sup> делового круглого леса, из которых 46,9 млн м<sup>3</sup> приходилось на хвойные породы [9].

В мировой практике основными направлениями использования древесных ресурсов являются:

- энергетическое использование;
- производство композитных материалов;
- целлюлозно-бумажное производство;
- лесохимическое производство.

Прогноз по мировому потреблению изделий из древесины первичной обработки в размере 3,1 млрд м<sup>3</sup> в эквиваленте круглого леса в 2050 г. отражает увеличение на 37% по сравнению с 2020 г. Дополнительный спрос на изделия из древесины для замещения невозобновляемых материалов (массивную древесину и химическое целлюлозное волокно) может возрасти до 272 млн м<sup>3</sup>.

В зависимости от интенсивности использования отходов деревообрабатывающей промышленности результирующий спрос на деловой круглый лес может вырасти на 0,5–0,9 млрд м<sup>3</sup> к 2050 г. по сравнению с 2020 г.

Сценарии будущих трендов потребления древесного топлива до 2050 г. демонстрируют широкую амплитуду. Большинство сценариев указывают на то, что мировые объемы потребления древесины для целей энергетики колеблются от 2,1 млрд до 2,7 млрд м<sup>3</sup> по сравнению с 1,9 млрд м<sup>3</sup> в 2020 г. [10].

*Энергия древесины* играет важную роль во всем мире как ведущий источник возобновляемой энергии, который обеспечивает около 6% общемирового предложения первичной энергии.

По официальным данным, в 2020 г. производство и потребление древесного топлива в регионе ЕЭК ООН несколько снизилось (примерно на 13,9 млн м<sup>3</sup> до 246 млн м<sup>3</sup>). Последние данные показывают, что 23% произведенного в 27 странах ЕС круглых лесоматериалов было направлено на производство энергии. На Кипре, в Италии и Нидерландах около 60% производства круглого леса предназначалось для энергетических целей в 2019 г. Доля круглого леса, используемого для производства энергии, с 2000 по 2019 г. увеличилась на 58% в Нидерландах и на 52% на Кипре [9].

В 2020 г. потребление древесного топлива в Европе незначительно уменьшилось, на 1,5% (рис. X1.6). В данном случае древесное топливо включает древесину, заготовленную из стволовой древесины, сучьев, ветвей и других частей деревьев, круглые и колотые дрова, а также древесину для производства древесного угля, древесных гранул и др. Оно также включает древесную щепу, используемую в качестве топлива, которая производится непосредственно в лесу из круглого леса [9].

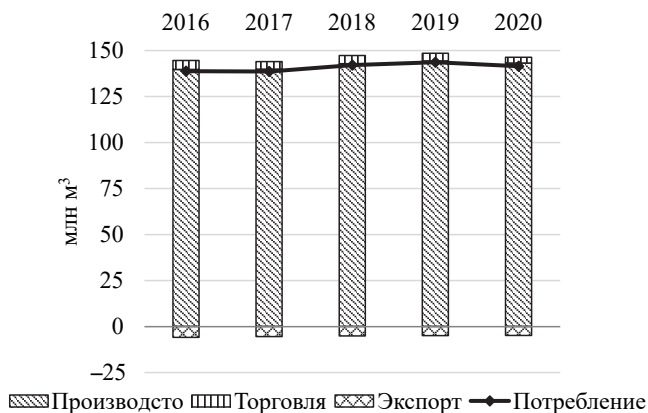


Рис. X1.6. Производство, торговля и потребление древесного топлива в Европе за 2016–2020 гг.

(объемы экспорта показаны как отрицательные значения)

В последнее время развиваются направления для производства жидкого и газообразного топлива из древесной биомассы, и в ближайшем будущем планируется его коммерциализировать для промышленного использования. Но пока твердое древесное топливо в виде древесных пеллет и древесной щепы широко используется для производства электроэнергии и обеспечения централизованного теплоснабжения во многих промышленно развитых, и в большинстве своем в европейских странах.

Потребление древесных пеллет неуклонно растет как для промышленных, так и для частных потребителей. Регион ЕЭК ООН является глобальным центром производства и потребления древесных гранул: 80% мирового производства и 90% мирового

экспорта. В 2020 г. в регионе ЕЭК ООН было произведено 35,6 млн т древесных пеллет, что на 4,8% больше, чем в 2019 г. Среди субрегионов Европа была крупнейшим потребителем и ведущим экспортером топливных гранул в 2020 г. (рис. X1.7–X1.9) [9]. Мировое производство пеллет, сертифицированных ENplus, в 2020 г. превысило 12 млн т и, как ожидалось, в 2021 г. – 14 млн т.

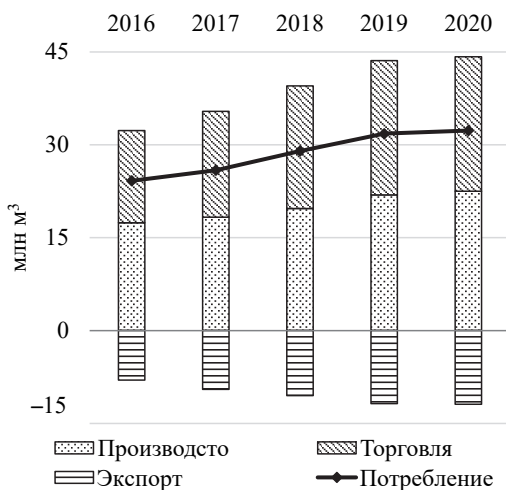


Рис. X1.7. Производство, торговля и потребление древесных пеллет в Европе за 2016–2020 гг.

В 2020 г. в Европе было произведено около 22,5 млн т древесных гранул, при этом импорт несколько сократился (на 0,3%) по сравнению с 2019 г. и составил 21,7 млн т.

В 2020 г. в Северной Америке было произведено 2,3 млн м³ древесного топлива и 12,24 млн т древесных гранул, что, соответственно, на 14,9% меньше и на 5,4% больше, чем в 2019 г.

Достигнув рекордно высокого уровня в 2018 г., производство и потребление древесного топлива в странах ЕЕССА в 2020 г. снизилось на 4,4%. Большая часть продукции использовалась внутри региона или экспортировалась между странами ЕЕССА; таким образом, субрегиональное производство и потребление в 2019 и 2020 г. составили 40,5 млн м³ и 40,0 млн м³ соответственно.

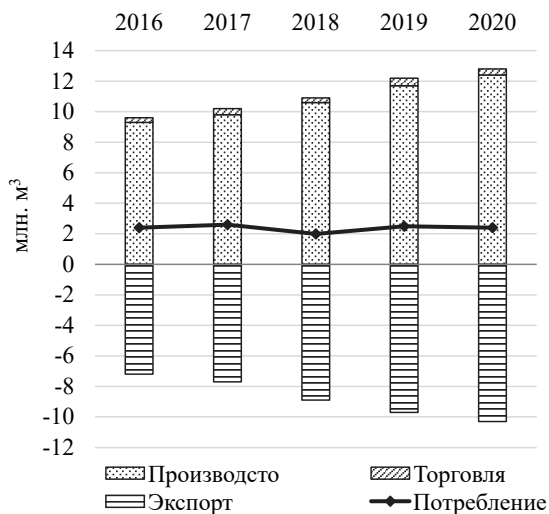


Рис. X1.8. Производство, торговля и потребление древесных пеллет в Северной Америке за 2016–2020 гг.

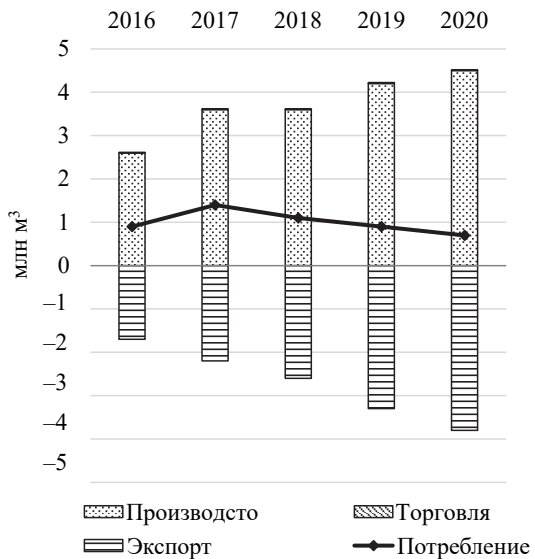


Рис. X1.9. Производство, торговля и потребление древесных пеллет в странах ЕЕССА за 2016–2020 гг.

Ситуация была гораздо более динамичной на рынке древесных гранул в странах ЕЕССА: в 2020 г. производство увеличилось на 7% до 4,5 млн т., причем Россия является основным производителем древесных гранул в регионе, хотя наибольший прирост производства в 2020 г. был в Беларуси – на 35,2% (до 557 тыс. т.). Производство древесных гранул в Российской Федерации в 2020 г. выросло на 6,5% – до 1,96 млн т., с января по май 2021 года – на 17,6% (по сравнению с аналогичным периодом 2020 г.), до 874 тыс. т. Российский экспорт древесных пеллет увеличился на 21,9% в первом квартале 2021 г., при этом основными экспортными рынками в январе были Дания (205,7 тыс. т), Бельгия (89,6 тыс. т) и Республика Корея (52,8 тыс. т).

Политика в области возобновляемых источников энергии, направленная на сокращение доли ископаемого топлива в национальных структурах энергоснабжения, является основным фактором увеличения спроса на древесные гранулы и международной торговли ими. Европейские промышленные потребители древесных гранул, как правило, получают определенные субсидии, поскольку их проекты направлены на обеспечение соблюдения финансируемых государством целей и требований в отношении возобновляемых источников энергии и изменения климата. Основными операторами электростанций на твердой биомассе в Европе являются Drax Group (Соединенное Королевство Великобритания и Северная Ирландия), UPM/Pohjolan Volma (Финляндия), E. ON (Германия), Fortum (Финляндия) и Vattenfall (Швеция). Древесные пеллеты, потребляемые в непромышленных секторах промышленно развитых стран, представляют собой более или менее устойчивый доступный вариант отопления, который не обязательно получает государственные субсидии [11].

Мировой рынок древесных пеллет в 2020 г. был оценен в 11,622 млрд долл. США, что почти на 11% больше, чем в 2019 г. В 2021 г. данный показатель составил 8,23 млрд долл. США, и ожидается, что совокупный годовой темп роста составит 5,5% с 2022 по 2030 г. [12]. Некоторые из ключевых факторов, способствующих росту рынка, включают растущее осознание использования возобновляемых источников энергии для отопления жилых и коммерческих помещений, рост финансовых стимулов со стороны нескольких федеральных агентств, многочисленные благоприятные

правительственные меры и низкую стоимость сырья для производства древесных пеллет. Однако высокая стоимость котельного оборудования на древесных гранулах, вероятно, затруднит рынок [13].

Распределение затрат на производство древесных пеллет и потребление энергии по цепочке создания стоимости значительно различаются в зависимости от таких факторов, как источник древесины, используемая система лесозаготовок, масштабы производства древесных гранул и расстояние транспортировки. В одном тематическом исследовании разбивка затрат была следующей: поставка сырья – 40%; производство пеллет – 30%; транспорт – 30%. Энергия, потребляемая в такой производственно-сбытовой цепочке, может составлять около одной четвертой от общего содержания энергии в древесных гранулах [11] (рис. X1.10).



Рис. X1.10. Объявленная стоимость проданного древесного топлива и древесных пеллет в Европе в 2016–2020 гг. [9]

**Древесные плиты.** Существует мнение, что развитие производства древесных плит было вызвано постоянно растущими ценами на круглые лесоматериалы и пиломатериалы, что, в свою очередь, заставило исследовать пути и средства более эффективного

использования древесных ресурсов. Это, безусловно, верно, поскольку при производстве многих древесных композитов могут использоваться круглые лесоматериалы низкого качества: древесина от рубок промежуточного пользования, низкокачественная и тонкомерная древесина и др. Кроме того, также находят применение побочные продукты из древесины, переработанные материалы, отходы первичных производств по переработке древесины. Так, например, на всех лесопильных и деревообрабатывающих предприятиях образуется большое количество отходов. Даже самое эффективное лесопильное производство вряд ли сможет переработать более 65% каждого пиловочника. Образующиеся отходы можно использовать для производства многих видов древесностружечных и древесноволокнистых плит.

Помимо экономических преимуществ, производство плитных изделий из древесного сырья вызвано стремлением человека к получению строительных материалов, которые отвечали бы современным требованиям. Как строительный материал древесина имеет множество преимуществ, но также имеет ряд недостатков. Главный из них – изменчивость. Свойства древесного материала сильно различаются как между породами, так и внутри них, и не только по внешнему виду, но, что еще более важно, по плотности, прочности и долговечности. Хотя прочностные свойства древесных композитов обычно ниже, чем у цельной древесины, они более стабильны. Это означает, что они могут выдерживать нагрузки с меньшим запасом прочности, что, по сути, уменьшает видимую разницу в прочности между массивной древесиной и композитами. Бактерии, грибки и насекомые легко разлагают древесину, особенно во влажном состоянии. Некоторые древесные плиты в этом отношении более устойчивы. Было обнаружено, что цементно-связанные композиты чрезвычайно устойчивы к разрушению грибами и даже термитами.

Другие преимущества древесных композитов обусловлены тем, что их свойства можно изменять. Например, пиломатериалы в значительной степени ограничены размерами, в частности шириной. Трудно получить пиломатериалы шириной более 225 мм и толщиной более 100 мм. В то же время размеры типичных панелей или плит варьируются от рынка к рынку, но обычно составляют 2,0–2,5 м в длину и 1,0–1,5 м в ширину, однако при необходимости можно купить панели гораздо большего размера.



Древесные композиты могут обладать особыми свойствами, такими как низкая теплопроводность, огнестойкость, лучшая биостойкость. Их поверхность может быть улучшена и в декоративных целях.

Объем мирового рынка древесных плит в 2021 г. оценивается в 155,3 млрд долл. США, и ожидается, что он будет расти с годовым темпом роста выручки 6,15% с 2020 по 2027 г. [14]. Низкая стоимость продукции в сочетании с высокими показателями качественных характеристик, включая прочность и долговечность, является ключевым фактором спроса на древесные плиты для мебельного производства и деревянного домостроения [15].

В то же время постоянное развитие технологий в области древесных композитных материалов резко повлияло на рынки древесины. Композитные изделия на основе древесины могут заменить изделия из цельной древесины, а также позволяют использовать древесину в тех областях, где традиционно преобладает сталь или другие материалы.

Композитные изделия обычно изготавливаются из древесины с низкой плотностью и небольшого диаметра и часто имеют свойства, превосходящие свойства цельной древесины. На такие изделия также гораздо меньше влияет использование древесины от рубок ухода, чем на изделия из цельной древесины. Как результат, возможность использовать деревья малого диаметра для производства различных изделий, – от бумаги до высокопрочных конструкционных материалов, создает препятствия для управления лесами при длительном лесовоспроизводстве, способствует дальнейшему развитию плантаций и смещает планирование управления в сторону обслуживания относительно быстрорастущих деревьев. Все это указывает на дополнительные возможности для регионов, имеющих доступ к значительным ресурсным плантациям.

Разработка композитных материалов снизила потребность в деревьях большого диаметра, предоставив при этом в качестве альтернативы пиломатериалам плитную продукцию с различными параметрами (рис. X1.11) [10].

Еще одним результатом относительно недавнего развития конструкционных композитов может стать со временем сокращение рынков мелких пиломатериалов. Усложнение композитных технологий в сочетании с высокими характеристиками продукции и, возможно, увеличением экономии в масштабе и снижением стоимости продукции по мере роста объемов производства может

сделать конструкционные композиты конкурентоспособными на рынках легких каркасов. Такое развитие событий будет способствовать развитию отрасли, основанной на плантациях, и может еще больше подорвать экономику выращивания деревьев до больших размеров.

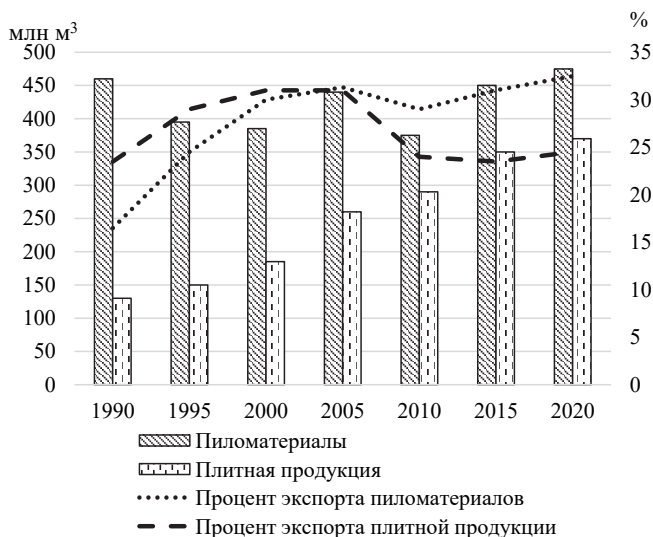


Рис. X1.11. Мировые объемы производства и объемы экспорта пиломатериалов и плитной продукции в 1990–2020 гг. [10]

На рис. X1.12 показаны последние тенденции в производстве древесных плит по категориям продукции.

**Фанера** (включая столярную плиту и ЛВЛ-брус) стала доминирующим типом древесных плит с объемом производства 163 млн м<sup>3</sup> (что составляет 40% всего производства древесных плит) в 2018 г., или на 11% больше, чем в 2014 г. Это в основном связано с быстрым ростом выпуска фанеры в Китае, где производство увеличилось на 12% за рассматриваемый период и составило 72% мирового производства в 2018 г. В остальных странах рост изготовления фанеры составил 8% за тот же период [16].

Потребление древесных плит в будущем может значительно увеличиться: +102% для шпона и фанеры, +72% для древесностружечных и древесноволокнистых плит [10].

Потребление древесных плит в будущем может значительно увеличиться: +102% для шпона и фанеры, +72% для древесностружечных и древесноволокнистых плит [10].

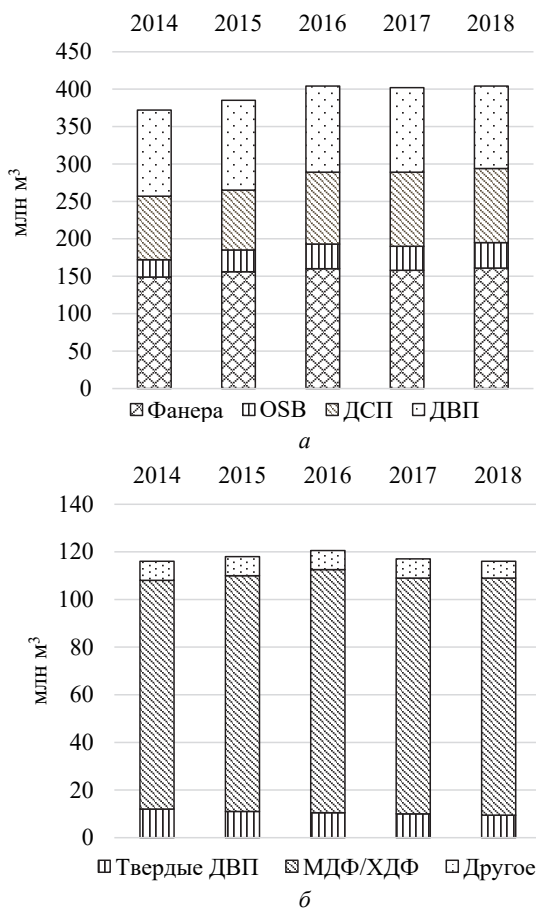


Рис. X1.12. Производство древесных плит [16]

Среди плит OSB и стружечные плиты показали самый быстрый рост производства, увеличившись на 25% и 13% соответственно с 2014 по 2018 г. Большая часть этого роста для обоих продуктов наблюдалась в Восточной Европе, включая Российскую Федерацию.

Мировое производство древесноволокнистых плит достигло своего пика в 2016 г. (121 млн м<sup>3</sup>), снизилось на 4% до 116 млн м<sup>3</sup> в 2018 г., то есть осталось на том же уровне, что и в 2014 г. (рис. X1.12, б). Производство МДФ/ХДФ, на долю которых в 2018 г. приходилось 85% всего выпуска древесноволокнистых плит, увеличилось на 5% за 2014–2018 гг. Производство других видов древесноволокнистых плит за этот период сократилось на 19%.

На фоне развития плитного производства и технологий получения композитных материалов за рубежом на высоком уровне рассматриваются вопросы *деревянного домостроения*. Это, в свою очередь, способствует развитию производств для получения структурно оптимизированных строительных материалов, известных как «инженерная древесина». Помимо строительных материалов с древесным наполнителем и органическими вяжущими, такими как арболит, фибролит, опилкобетон, и уже ставшими традиционными материалами для внутренней облицовки помещений древесными плитами (ДВП, ДСтП и пр.), сейчас на рынке появились новые виды строительных материалов: клееный брус, ламинированный брус (LVL-брус), структурная фанерная древесина (SVL), поперечно-ламинированная древесина (CLT), двутавровые балки, структурные изоляционные панели, бретштاپель и др.

Преимуществами этих древесных композитов являются повышенная стабильность размеров, более однородные механические свойства и большая долговечность.

Композиты из массивной древесины разрабатывались на протяжении всего XX в.; однако недавние достижения в их производстве и изготовлении крепежных систем сделали композиты более простыми в использовании и более привлекательными в качестве строительного материала. Появление больших фрезерных станков с числовым программным управлением (ЧПУ) теперь позволяет собирать массивные CLT-панели с высокой точностью на заводе перед доставкой на стройплощадку. Массивные древесные композиты также производятся под более жестким контролем относительной влажности, что важно, потому что древесина меняет размеры с изменением влажности. Кроме того, стабильность размеров конструкционных композитных материалов по своей природе выше, чем у массивной древесины, в результате различной ориентации отдельных деревянных компонентов. Стабильность размеров

этих композитов чрезвычайно важна в многоэтажном строительстве, где небольшие деформации, вызванные влагой, складываются по высоте здания. Наконец, для соединения массивных древесных композитов были разработаны новые системы крепления, такие как саморезы и стержни из эпоксидной стали. Эти технологии улучшили прочностные характеристики деревянных соединений (рис. X1.13) [17].

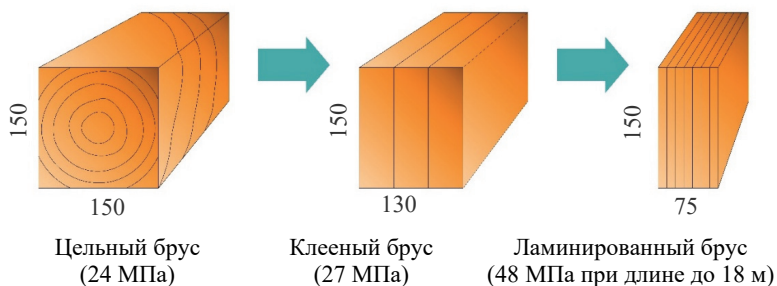


Рис. X1.13. Сравнение показателя прочности древесных материалов на изгиб

**Клееный брус** (рис. X1.14) – это структурный деревянный элемент, сформированный, по крайней мере, из двух по существу параллельных пластин, которые могут состоять из одной или двух расположенных рядом панелей конечной толщины от 6 до 45 мм (BS EN 14080:2013). Они обычно используются для изготовления изогнутых и длинных балок, ограниченных только способами транспортировки. Клееный брус относится к определенным классам прочности, указанным в BS EN 14080:2013.

**Ламинированный брус (LVL-брус)** (рис. X1.15) – восстановленная размерная древесина, которая обычно в два раза прочнее, чем размерная древесина той же породы, изготовленная из лущеного шпона ели, сосны или дугласовой древесины толщиной 3 мм [17].

Как правило, волокна шпона ориентированы в одном направлении, однако производятся профили и с поперечными волокнами, обеспечивающие заданные механические свойства. Отрезки короткого шпона совмещаются встык с косым соединением, что обеспечивает неограниченную размерную длину.



Рис. X1.14. Клееный брус



Рис. X1.15. Ламинированный брус (LVL-брус)

**Структурная фанерная древесина (SVL)** состоит из внешних слоев LVL, ламинированных вместе для образования линейных структурных компонентов. Использование шпона из пихты Дугласа толщиной 2,5 мм, ламинированного в направлении волокон, параллельных продольному направлению доски или бруса, является обычным явлением [17].

**Поперечно-ламинированная древесина (CLT)** (рис. X1.16) – деревянные панели, которые состоят как минимум из трех слоев пиломатериалов хвойных пород, уложенных друг на друга под прямым углом и склеенных для образования толщины в диапазоне 50–500 мм, подходящей для пола, стены и элементы кровли длиной до 13,5 м [17].

**Двутавровые балки** (рис. X1.17). Несмотря на то, что они более дорогие и более глубокие, чем балки из цельной древесины для эквивалентной прочности и жесткости, композитные двутавровые балки более стабильны по размерам из-за их однородного полотна OSB и относительно небольшого размера полок из массивной древесины или LVL-брусев.



Рис. X1.16. Поперечно-ламинированная древесина (CLT)



Рис. X1.17. Двутавровые балки

**Структурные изоляционные панели (SIP)** (рис. X1.18) – это структурные сборные сэндвич-панели, состоящие из изоляционного слоя, заключенного между двумя слоями волокна или ориентированно-стружечной плиты.

**Бретштатель (brettstapel)** (рис. X1.19) – эти панели из массива дерева, также известные как «дюбели», производятся из досок хвойных пород, соединенных дюбелями из твердой древесины. Дюбели из твердой древесины забиваются в панели при влажности 8%. При содержании влаги в досках из мягкой древесины 12–15% дюбель из твердой древесины набухает, чтобы найти равновесие, плотно фиксируя панели без использования клея [17].



Рис. X1.18. Структурные изоляционные панели (SIP)

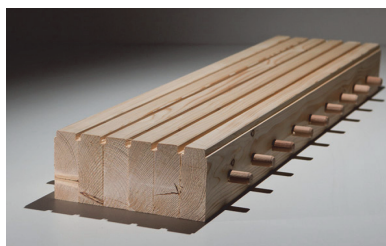


Рис. X1.19. Бретштатель

Многие изделия из инженерной древесины также комбинируются с габаритными деревянными каркасными конструкциями для увеличения жесткости и прочности на сдвиг, включая фанеру, ориентированно-стружечную плиту (OSB), MDF и ДВП.

Швейцария, Франция, Германия и другие европейские страны, а также Япония, Канада и Австралия проводят политику сдерживания глобального потепления, в том числе путем замены строительных материалов с высокими уровнями внутренней энергии, таких как бетон и сталь, древесиной. Действующее правило «сначала древесина» стимулирует использование ее в качестве строительного материала [18, 19]. Только с 2010 по 2015 г. доля рынка деревянных многоэтажных квартир выросла с 1 до 10% [20]. Если эта тенденция изменит мировую строительную отрасль, возникнет высокий спрос на деревянные строительные материалы, что, следовательно, может расширить производство изделий из древесины.

*Лесохимическое производство.* Биополимеры, которые образуют стенки древесных клеток, предоставляют важную возможность для производства топлива и продуктов химической переработки. Стратегии их производства из древесного сырья в целом можно разделить на два класса, состоящие из биохимических и термохимических путей.

Пути термохимической переработки отличаются от биохимической тем, что они предусматривают, в первую очередь, воздействие высоких температур, а не использование биокатализаторов для разрушения биомассы. К этой категории относятся такие технологии, как быстрый пиролиз, газификация и гидротермальное сжижение. Хотя важность производства возобновляемого топлива из древесного сырья широко признана, недавние технико-экономические оценки процессов биопереработки подчеркнули важность производства дополнительных ценных химических побочных продуктов из древесных полимеров [21].

Биохимические продукты считаются одними из наиболее заметных на рынке развивающихся продуктов из древесины, которые могут компенсировать снижение доходов целлюлозно-бумажного производства в результате структурных изменений на мировых рынках [22].

Биохимический сектор уже перешел от технологического рывка, возглавляемого крупными химическими компаниями, к рыночному движению, создаваемому ведущими потребительскими брендами, такими как P&G, IKEA, LEGO и Coca Cola Company, которые поставили конкретные цели по замене химических веществ на основе ископаемого топлива на более экологически безопасные альтернативы [23].

Построение концепции биопереработки, интегрированной в целлюлозно-бумажную промышленность, остается жизненно важной для реализации новых возможностей и диверсификации бизнеса в лесном кластере [24]. Согласно [25], в процессе первичной переработки древесины отходы, которые обычно сжигают для обеспечения их энергетической ценности, можно использовать для производства биопродуктов с высокой добавленной стоимостью, способствующих наиболее эффективному применению сырья.

Признано, что некоторые биохимические вещества на основе древесины имеют потенциал для коммерциализации. Например,



этанол, фурфурол, молочная и янтарная кислота могут рассматриваться как новые химические продукты биопереработки из углеводов [26], в то время как некоторые производные лигнина были введены в качестве альтернативы некоторым ископаемым ресурсам. Одним из примеров уже существующего коммерческого пути получения биохимических продуктов с использованием лесного сырья является химическая переработка древесины сосны с получением сырого таллового масла. Являясь побочным продуктом процесса варки крафт-целлюлозы [27], неочищенное талловое масло демонстрирует эффективность использования ресурсов за счет каскадного использования биомассы.

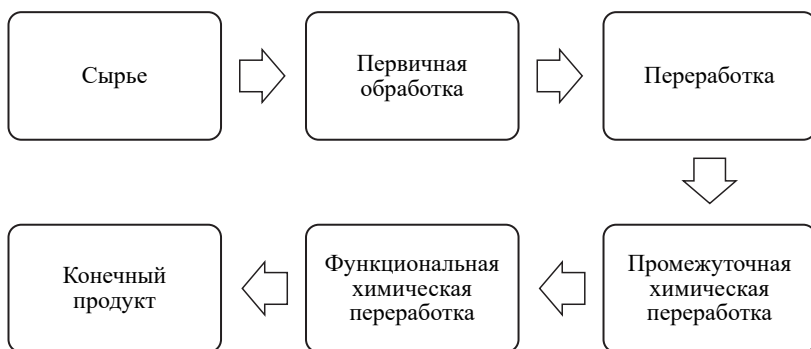


Рис. X1.20. Предлагаемая производственно-сбытовая цепочка для создания биохимических продуктов на древесной основе [28]

Модель обеспечения экономической и социальной ценности биомассы путем ее максимального использования за счет переработки продукции и модернизации по всей цепочке создания добавленной стоимости представлена на рис. X1.20. Данная цепочка представляет собой разграничение всего лесного биохимического сектора.

### 1.3. Понятие «добавленной стоимости» в лесопромышленном производстве

Производство древесной продукции с более высокой добавленной стоимостью все чаще рассматривается как стратегическая цель развития лесной промышленности во всем мире. Под добавленной стоимостью понимается разница в экономической стоимости

между физическими затратами и результатами производственного процесса и обычно анализируется на уровне конкретного производства или национальной экономики. Добавленная стоимость в лесопромышленном комплексе является ключевым показателем, отражающим, насколько эффективно используется сырье в цепочке производства. Величина добавленной стоимости продукции отраслей ЛПК прямо пропорциональна глубине переработки древесины, и чем большую добавленную стоимость создает производство, тем экономически эффективней оно функционирует [29].

Если проводить количественную оценку добавленной стоимости на уровне промышленных процессов, то обнаруживается, что тип вводимой биомассы сильно влияет на потенциал добавления стоимости. Так, например, круглые деловые лесоматериалы могут использоваться для всего спектра производственных процессов, в то время как древесные отходы могут применяться для производства определенной продукции. Например, любую биомассу можно сжечь для получения тепла, но не всю биомассу можно превратить в конструкционную древесину. Таким образом, важно различать типы вводимой биомассы как с точки зрения экономической ценности, так и с точки зрения потенциальной полезности [30].

Стоимость продукта возрастает по мере того, как он проходит по цепочке создания стоимости от добычи сырья до использования потребителем. На разных этапах цепочки добавленной стоимости плюсятся разные аспекты стоимости. На уровне производства основное внимание уделяется добавленной стоимости за счет физической или химической модификации вводимых материалов. Позже в цепочке, когда продукт приближается к розничной продаже конечному пользователю, добавленная стоимость плюсуется, например, за счет логистических или административных операций, которые повышают удобство и доступность для конечного потребителя. Таким образом, данный продукт, возможно, физически неизменный, может иметь разную стоимость в разных точках цепочки создания стоимости.

На рис. X1.21 показаны три процесса создания добавленной стоимости (*A*, *B* и *C*), выполняемые тремя отдельными производителями (верхний рисунок), и те же три процесса, выполняемые

одним вертикально интегрированным производителем (нижний рисунок).

Процессом *A* может быть, например, валка и транспортировка деревьев (цепочка составления добавленной стоимости может также расширяться, включая создание лесов и управление ими). Процесс *B* может заключаться в переработке заготовленного круглого леса в пиломатериалы или древесные плиты. Процесс *C* может представлять собой строительство здания с использованием древесных и других строительных материалов.

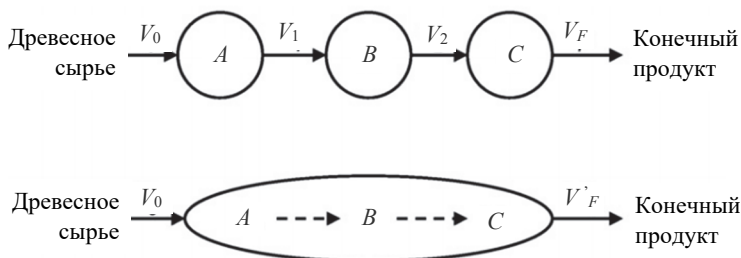


Рис. X1.21. Схема трех процессов создания добавленной стоимости

В теоретической рыночной экономике сумма добавленной стоимости отдельных производителей ( $V_F - V_0$ ) должна равняться добавленной стоимости вертикально интегрированного производителя ( $V'_F - V_0$ ). Однако фактическая (или измеренная) добавленная стоимость будет зависеть от эффективности (или неэффективности) интеграции, транспортных издержек между отдельными производителями, логистических издержек между различными производственными подразделениями, качества и (или) наличия данных о стоимости в различных точках технологической цепочки. Интегрированные лесопромышленные компании могут также субсидировать определенные операции по переработке, взимая цены на лесоматериалы, древесины на корню по ценам ниже рыночных.

Вертикальная интеграция может позволить оптимизировать материальные потоки для создания добавленной стоимости. С другой стороны, интеграция может ограничить возможности для максимизации добавленной стоимости от единицы сырья, если интегрированное производство нацелено на производство одного продукта

(или ряда продуктов) и медленно меняет конфигурацию, чтобы воспользоваться открывающимися возможностями. На-против, неинтегрированные участники могут иметь повышенную гибкость, необходимую для выявления потенциальных рынков сбыта продукции и формирования соответствующих специальных партнерств для использования возможностей по мере их появления.

На рис. X1.22 и в табл. X1.2 представлены результаты расчета добавленной стоимости различной древесной продукции при использовании в качестве сырья деловой древесины, балансов и древесных отходов [30].

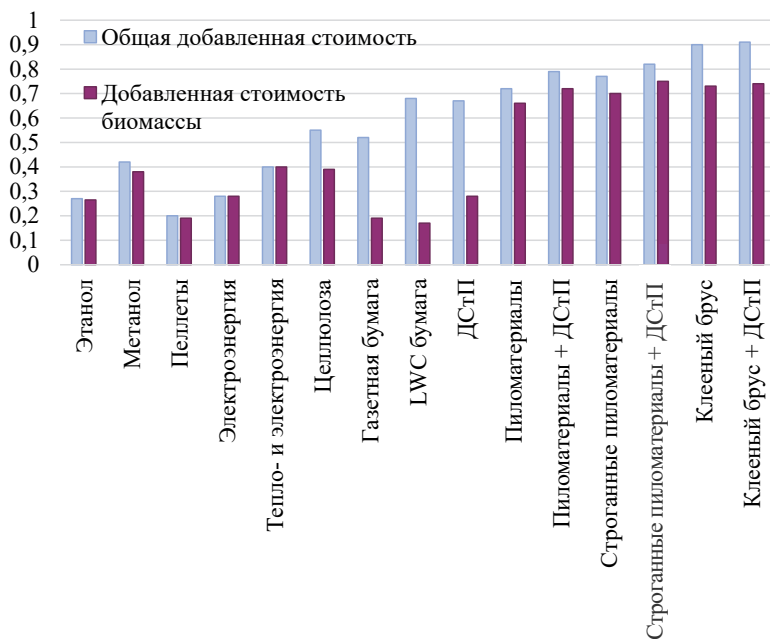


Рис. X1.22. Общая добавленная стоимость и добавленная стоимость биомассы на единицу общей выходной стоимости, евро/евро

Добавленная стоимость варьируется от отрицательного значения (то есть конечный продукт имеет меньшую стоимость, чем исходное сырье) для некоторых видов древесного топлива, изготовленного из деловой древесины, до максимального значения добавленной стоимости при производстве клееных балок (табл. X1.2).

Таблица X1.2

**Общая добавленная стоимость на единицу продукта, евро**

Продукт	Древесина		Древесные отходы
	деловая	балансовая	
Этанол	-1,4	2,7	3,4
Метанол	2,0	4,5	4,8
Пеллеты	-1,0	0,8	1,1
Электроэнергия	-1,0	2,3	2,8
Тепло- и электроэнергия	1,6	5,2	5,8
Целлюлоза	191	252	–
Газетная бумага	186	214	–
LWC бумага	449	472	–
ДСтП	169	185	–
Пиломатериалы + ДСтП	318	–	–
Строганные пиломатериалы	325	–	–
Строганные пиломатериалы + ДСтП	448	–	–
Клееный брус	1010	–	–
Клееный брус + ДСтП	1140	–	–

*Примечание.* По ценам 2009 г.

Конструкционные изделия из древесины дают большую добавленную стоимость, так как данная продукция имеет благоприятную рыночную перспективу, что связано с продвижением древесины в качестве строительного материала. Кроме того, у конструкционных изделий, получаемых в результате механической обработки древесины, самая высокая взаимосвязь между добавленной стоимостью и капиталовложениями, и, следовательно, они не так капиталоемки, как продукты химической переработки древесины.

Совместное производство нескольких продуктов из одного сырья увеличивает общую добавленную стоимость. Например, интеграция производственно-сбытовой цепочки получения целлюлозы и бумаги значительно увеличивает добавленную стоимость балансовой древесины. Аналогичная ситуация наблюдается при объединенном производстве конструкционных материалов из цельной и измельченной древесины.

Для использования древесных отходов в качестве топлива существует множество процессов преобразования, которые обладают рядом потенциальных дополнительных преимуществ. Однако применение древесины для производства энергии эффективно с точки зрения обеспечения высокой добавленной стоимости, если рассматривать его как вариант, дополняющий другие виды производства.

В мировой практике для обеспечения климатических выгод и стимулирования использования древесной продукции в их стоимость включают затраты на оплату налога на выбросы углерода, что также значительно увеличивает добавленную стоимость.

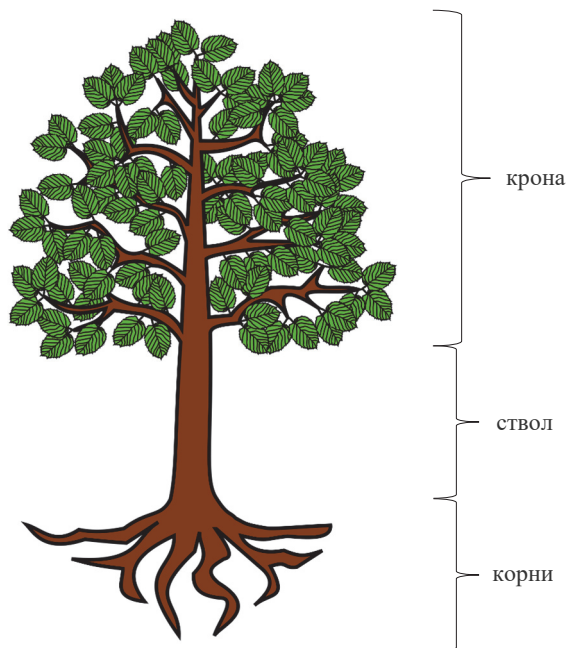
Потенциал лесной промышленности с учетом развития производства древесной продукции с добавленной стоимостью увеличивается как средство содействия экономическому развитию. Кроме того, значительные усилия по развитию отрасли сосредоточены на вторичной обработке с добавленной стоимостью (мебель, плиты и др.) вместо первичного производства (пиломатериалы, фанера), чтобы сохранить и расширить рабочие места в сельской местности. Вторичная обработка древесины с большей добавленной стоимостью открывает возможности для повышения прибыльности за счет более высокой рентабельности и большей прибыли.

Производство изделий из вторичного древесного сырья часто открывает возможности, которые обычно не предлагаются при первичной обработке. Например, вторичные производители обычно могут повышать цены, чтобы компенсировать упущенную выгоду, когда возрастают затраты на сырье. Вторичные продукты также приносят более высокую прибыль за счет увеличения стоимости и удовлетворения конкретных потребностей потребителя.

## Раздел 2. ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ДРЕВЕСНОЕ СЫРЬЕ В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕМ ПРОИЗВОДСТВЕ

*Древесной биомассой* называется все многообразие жизнедеятельности древесных растений. Древесную биомассу разделяют на следующие компоненты (рисунок):

- корневую часть, состоящую из пней и корней;
- стволую часть, состоящую из древесины и коры;
- крону, состоящую из древесины, сучьев и ветвей, а также древесной зелени.



Компоненты древесной биомассы

При существующих технологических процессах заготовки и переработки древесного сырья основное применение находит стволовая часть древесины. Остальная часть древесного сырья относится к древесным отходам.

**Древесные отходы** – это та часть сырья, которая отделяется в процессе заготовки и производства основной продукции, частично или полностью потерявшая потребительские свойства исходного сырья, но по своим качественным характеристикам может быть использована в других производствах в виде основного сырья. Поэтому отходы называют вторичными древесными ресурсами или дополнительным сырьем.

Отходы образуются практически на всех стадиях лесозаготовительного и деревоперерабатывающего процессов. Получаемые древесные отходы можно классифицировать по следующим признакам: физико-механическим и химическим свойствам, возможности использования, месту образования в технологическом процессе переработки, технической и экономической доступности [31].

По месту образования отходы можно разделить на лесосечные и отходы переработки древесины. Лесосечные отходы образуются в процессе заготовки древесины и в большинстве случаев остаются в лесу. К таким отходам относятся порубочные остатки (сучья, ветки, вершины, откомлевки), опилки, пни, корни, низкокачественная, неликвидная древесина. Отходы от переработки древесины образуются на предприятиях, которые находятся в населенных пунктах или вблизи них. Тип таких отходов зависит от вида переработки древесины. При лесопилении и механической обработке это кора, опилки, рейки, горбыль, трещиноватая древесина, стружка, щепка, кусковые отходы. При плитном производстве в отходы уходят кора, отсев стружки, опилки, шлифовальная пыль, отходы форматной обрезки. В лесохимическом производстве отходами является лигнин.

В табл. Д2.1 приведены источники накопления отходов в зависимости от вида производства.

**Отходы лесозаготовок** могут быть определены как объем ресурсов по разности всей биомассы и вывезенной ликвидной древесины. Ликвидная древесина – это деловая (без коры) и дровяная (с корой) древесина, полученная из деревьев, достигших учетных размеров. На отдельных стадиях производства лесопроductии часть древесины не используется и теряется (недорубы, потери стволовой части из-за обломков и оставленных высоких пней, при трелевке – оставленные или поломанные тонкомерные хлысты на лесосеке и т. д.). Среди оставленных на корню или брошенных на лесосеке надо выделять тонкомерные и «нежелательные» деревья, товарный сухостой и валежник.



Таблица Д2.1

**Объемы накопления отходов в зависимости от вида производства**

Вид производства	Доля выхода, %		
	конечная продукция	отходы	потери
Лесозаготовки и лесное хозяйство	63–80	20–37	–
Лесопиление и деревообработка: – лесопиление и механическая обработка древесины	45–55	38–48	7
– плитное производство (в т. ч. древесные пластики)	85–90	5–10	5
– фанерное производство	40–50	42–52	8
– комбинированное производство	65–70	22–27	8
Лесохимическое производство (целлюлозно-бумажное и гидролизное производства)	62–68	35–38	–

На нижних складах производится 40% всех пиломатериалов в стране. При распиловке древесного сырья образуется до 44% отходов, количество и качество которых зависят от технологического процесса распиловки, размеров и качества распиливаемых бревен, применяемых поставов.

Отходы древесины при различных способах раскря неодинаковы, по происхождению их можно разделить на следующие группы:

- а) связанные с применяемой при раскря техникой;
- б) связанные с формой исходного сырья;
- в) связанные с качеством древесины;
- г) сопутствующие (внебалансовые).

К отходам первой группы относят древесину, измельченную в опилки, что свойственно технологии деления древесины пилами.

К отходам, связанным с формой исходного сырья, относятся горбыли, отрезки досок и рейки.

К отходам, связанным с качеством древесины, относятся разнообразные вырезки частей древесины с пороками, не допускаемыми техническими условиями на пиломатериалы различного назначения.

Сопутствующие отходы представлены корой, которая не входит в учет древесной массы и является внебалансовой.

Средний баланс древесины при раскросе пиловочных бревен хвойных пород диаметром 20–22 см и длиной 6 м приведен в табл. Д2.2.

Таблица Д2.2

## Средний баланс древесины при раскросе бревен хвойных пород

Материалы и отходы	Выход, % от объема сырья, при распиловке			
	вразвал		с брусковкой, мм	
	необрезные пиломате- риалы	обрезные пиломате- риалы	50	100
Доски длиной 1 м	74	56	57,5	59
Материалы и отходы	Выход, % от объема сырья, при распиловке			
	вразвал		с брусковкой, мм	
	необрезные пиломате- риалы	обрезные пиломате- риалы	50	100
Горбыли	6	6	8,5	10
Рейки	–	14	10	7
Короткие доски длиной 0,3–1,0 м	3	3	3	3
Торцевые отрезки, вырезки	–	2	2	2
Опилки	10	12	12	12
Усушка и распыл	7	7	7	7

Направление дальнейшего применения отходов зависит в основном от их размерно-качественных характеристик и экономических факторов.

Древесные отходы можно использовать после механической обработки или химической переработки, а также непосредственно без каких-либо обработок. По возможности использования отходы лесопиления и деревообработки не равноценны. Наиболее ценные из них те, которые можно применять для производства различной продукции. К этой группе можно отнести кусковые отходы – горбыль, рейки и т. д. Спектр их использования очень широкий: от производства мелкой пилопродукции и клееных заготовок до лесохимической продукции (изготовления целлюлозы, спирта, кормовых дрожжей и т. д.). Менее ценные те отходы, которые ограничены

в использовании, так как их них можно вырабатывать только отдельные виды продукции. Это мягкие отходы – опилки, стружка, кора. Опилки и стружка применяются непосредственно для хозяйственных и промышленных целей, а также как технологическое сырье для плитного и лесохимического производства. Менее трудоемким является использование опилок, стружки и коры в качестве топлива и удобрений [31].

В настоящее время инновационные разработки в области переработки древесины направлены на производство новых видов продукции или замены деловой древесины. При этом обеспечивается экологическая безопасность, а использование древесных отходов первичного производства дают продукцию с низкой себестоимостью.

Кусковые отходы лесопиления и деревообработки, стружка, опилки, кора, а также некоторые виды отходов лесопромышленного производства интенсивно используются в производстве строительных материалов (конструктивно-теплоизоляционных, отделочных материалов, стандартном домостроении, окон, дверей и др.). Одним из приоритетных направлений использования кусковых отходов лесопиления является изготовление однородной древесноволокнистой фракции, область дальнейшей переработки которой очень велика.

Мелкие сыпучие отходы лесозаготовок и лесопиления, такие как хвоя, листья, опилки, стружка, древесная пыль, кора, пока не нашли еще широкого и полного применения, но имеют перспективные направления использования.

Отходы лесозаготовок, такие как хвоя и листья, практически не применяются по причине их технической и экономической недоступности. Затраты на сбор, обработку и транспортировку данного сырья часто превышают стоимость готовой продукции. Однако химический состав хвои разных пород древесины позволяет ее использовать в производстве медицинских препаратов, всевозможных экстрактов, парфюмерии, удобрений и подкормки для животных.

Опилки используются не более чем на 30% от общего объема. Наибольшая их часть вывозится на свалки для перегнивания либо

сжигается в отвалах. В последнее время активно реализуется производство брикетов и пеллет из древесных отходов (преимущественно опилок), включая кору хвойных пород. Брикеты и пеллеты, представляющие собой прессованное низкокачественное древесное сырье, характеризуются высокой калорийностью, компактностью, экологичностью и транспортабельностью. Они эффективно применяются как в бытовых, так и промышленных целях, в том числе для тепловых станций, успешно конкурируя с каменным углем. Общеизвестно, что использование получившего дополнительную переработку древесного сырья в качестве топлива значительно повышает общую эффективность процессов энергообеспечения на предприятиях и снижает загрязнение атмосферы выбросами вредных веществ. Производственный процесс позволяет непосредственно использовать измельченное сырье, состоящее из смеси различных пород, неоднородное по составу и размеру частиц. Однако наиболее качественные брикеты и гранулы получаются при прессовании опилок. Стружки, кусковой материал и дробленку необходимо подвергать измельчению до опилочной фракции.

Плитное производство также является одним из основных потребителей стружки и опилок. Потребление 1 млн м<sup>3</sup> плит, изготовленных из древесных отходов, условно сберегает 54 тыс. м<sup>3</sup> деловых пиломатериалов. В последние годы все больше обращают внимание на производство из измельченной древесины цементно-стружечных плит, арболита, песчано-опилочного бетона, стекло-дробленочного строительного материала, ксилолита и др.

Основным сырьем для спиртодрожжевого производства являются опилки и щепа. Другие отходы (горбыль, рейки, шпон, сучья и др.) требуют сортировки, измельчения, промывки и т. д.

Наиболее простой и дешевый способ применения древесных отходов – это использование в сельском хозяйстве в качестве кормовых добавок, подстилки животным и удобрений. Из коры или хвои получают кормовую и витаминную муку, которую используют в качестве добавок при изготовлении комбикорма и кормосмеси. В ней содержится комплекс питательных веществ. Для этих целей наиболее пригодной считается осиновая кора, в которой содержание сырого жира достигает 7,3%, протеина 2,8%, сахара 2,2%.

Кора содержит больше минеральных веществ (3,0–5,5% от общей массы), полезных для растений, чем в опилках. Содержание азота

в коре увеличивается при ее хранении (за 5 лет – почти в 2 раза), понижается кислотность, количество других полезных компонентов остается прежним.

Использовать опилки и кору в качестве удобрений можно после компостирования, которое относится к наименее затратным и эффективным способам утилизации древесных отходов. Получаемая при этом продукция может потребоваться для повышения плодородия почвы, оптимизации состава содержащихся в ней гумуса и минеральных веществ и улучшения ее структуры. Не являясь способом утилизации, содействующим максимизации прибыли, компостирование, в связи с необходимостью удаления с промплощадок больших объемов древесных отходов, актуально и может использоваться в значительных масштабах. В настоящее время имеются технологии получения компостов практически из любых древесных отходов.

Существует ряд других направлений использования древесных отходов. В частности, на основе кусковых отходов получают клееные материалы, столярные изделия, мебель, другие товары хозяйственного и культурно-бытового назначения. Мягкие древесные отходы используют в производстве пресс-масс и пресс-изделий, в частности пьезотермопластиков, тырсолита и паркелита. Применение коры возможно в производстве стружечных плит, топливных брикетов, фармакопейной смолы, дегтя и пр. Другим серьезным направлением использования древесных отходов может служить выработка древесного угля. Отходы лесозаготовок можно перерабатывать в лесохимическом и топливном направлениях. Откомлевки могут также перерабатываться на тарную досочку и подобные изделия, тонкомеры – на рудничную стойку.

Увеличение использования вторичных древесных ресурсов является важнейшим звеном в развитии политики ресурсосбережения, рационального природопользования, экологической безопасности производства [31].

## **Раздел 3. СПОСОБЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНОГО ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ**

### **3.1. Щепа как основа комплексного использования древесного сырья**

Как было отмечено в предыдущих разделах, древесные отходы, которые образуются на стадии первичного производства, представляют собой ценный древесный ресурс, эффективность использования которого зависит от многих факторов: вида отходов, источника их образования, их параметров, свойств, структуры, направления использования и др.

В том виде, в каком древесные отходы образуются на лесосеке или в цехах, они не всегда могут найти применение. Например, кусковые отходы (горбыли, рейки, срезки, оторцовки) используются в первоначальном виде в основном как топливо. В небольших объемах применяют для возведения ограждений, в декорировании помещений, ландшафтном проектировании и пр. Необходимо отметить, что использование кусковых отходов в исходном виде подразумевает дальнейшую работу с ними с преобладанием ручного труда.

Также примером использования древесных отходов без предварительной обработки являются мягкие отходы: опилки, стружка, древесная мука. В лесохимическом производстве они являются сырьем для гидролизного производства или, как и предыдущие примеры с кусковыми отходами, для сжигания в котельных, в декоративных целях, домашнем подворье и др.

Расширить вовлечение древесных отходов в другие виды производства можно за счет предварительного измельчения древесного сырья на рубительных установках (рис. С3.1). Это предусмотрено большинством технологий, применяя которые из древесины предварительно необходимо получить щепу, топливную или технологическую, чтобы обеспечить удобство ее дальнейшего использования, сократить время переработки древесного сырья и расширить сферы их использования. Так, применение топливной щепы на энергообъектах дает возможность автоматизировать процесс подачи по сравнению с кусковыми отходами. Кроме того, топливная щепа является сырьем для производства облагороженного древесного топлива и для пиролиза.

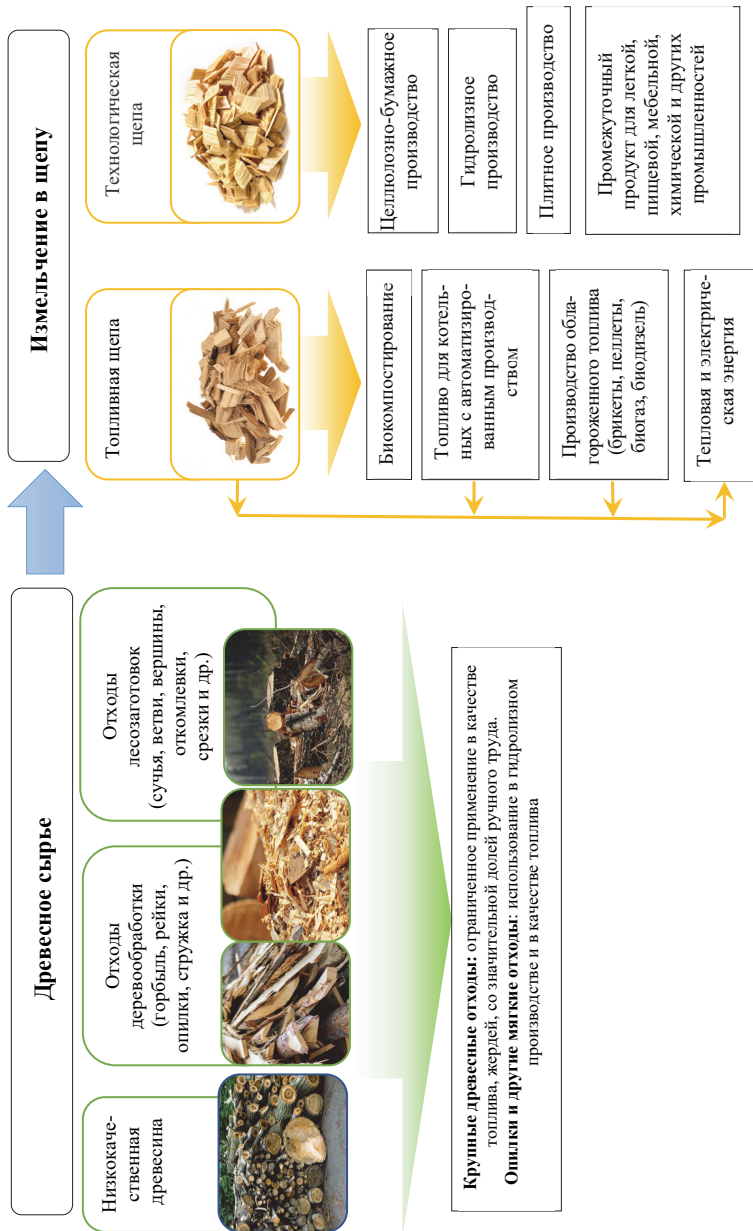


Рис. С3.1. Структура комплексного использования древесного сырья

Если топливная щепка применяется в основном для получения тепловой и электрической энергии, то технологическая щепка является основой для химико-механической и химической переработки древесины. Для химической переработки древесина интересна своим комплексом природных органических полимеров – целлюлозы, нецеллюлозных полисахаридов, лигнина, а также разнообразных низкомолекулярных соединений – экстрактивных веществ.

Ценные физические свойства, такие как большая прочность при малой плотности, низкие тепло- и электропроводность, легкость обработки, внешний вид и т. д., делают древесину незаменимым конструкционным и поделочным материалом в плитном, мебельном, строительном производстве и пр.

Химическая переработка древесины осуществляется по трем основным направлениями: термическое разложение древесины, целлюлозно-бумажное производство и гидролизное. На целлюлозно-бумажных предприятиях из древесины получают волокнистые полуфабрикаты, а из них бумагу, картон и другие виды продукции. Необходимо отметить, что данные производства являются поставщиками природной целлюлозы, которая затем используется для получения вискозы и ацетатного шелка, а также таких синтетических материалов, как полиэфиры, полиамиды, полиакрилонитрилы для получения лакокрасочных изделий.

На гидролизных заводах древесину подвергают гидролизу с последующей биохимической и химической переработкой образующихся гидролизатов. Основная продукция – биоэтанол, фурфурол, ксилит, этиловый и метиловый спирты и др. Результатом термической переработки древесины является получение древесного угля, уксусной кислоты и др. При экстракции древесного сырья получают полуфабрикаты для производства фенолов, канифоли, скипидара, камфоры, дубителей и др.

Химизация национальной экономики имеет двоякое значение. Во-первых, она усовершенствует технологию производственных процессов, заменяя механические операции химическим воздействием. Во-вторых, более полно обеспечивается использование природных ресурсов и создание новых материалов с необходимыми свойствами. Химический метод производства характеризуется более высокой интенсивностью, производительностью труда, он легче поддается механизации и автоматизации. Тем самым возникает возможность существенно экономить затраты труда и снизить себестоимость выпускаемой продукции [32].



## 3.2. Энергетическое использование древесного сырья

Энергия имеет центральное значение для почти каждой из основных проблем и возможностей, с которыми сегодня сталкивается мир. Будь то рабочие места, безопасность, изменение климата, производство продуктов питания или увеличение доходов – доступ к источникам энергии для всех является определяющим фактором. Устойчивая энергетика необходима для укрепления экономики, защиты экосистем и достижения справедливости [33].

На фоне глобальных изменений климата по причине возрастающих объемов выбросов парниковых газов от сжигания ископаемых углеводородных видов топлива со стороны широкой общественности возрастают требования к переходу на иные источники энергии. Определенное внимание при этом обращается на использование в энергетических целях возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Для Республики Беларусь, имеющей значительные *древесные ресурсы*, развитие и внедрение ВИЭ наиболее актуально в направлении биоэнергетики. Кроме того, *лесное хозяйство страны имеет важное значение в обеспечении населения и энергетического комплекса древесным топливом для получения тепловой и электрической энергии*.

Под древесным топливом понимается биотопливо, производимое из малоценной и низкокачественной древесины, а также отходов древесного сырья, образующихся в процессе его выращивания, заготовки и переработки [34].

Чем же привлекает древесная биомасса как источника энергетического сырья? Во-первых, она возобновляема. Во-вторых, она местная, повышающая энергобезопасность страны, экономящая валютные средства и снижающая зависимость от импорта. В-третьих, она по своему жизненному циклу максимально вписывается в концепцию устойчивого развития, что позволяет утилизировать как все отходы лесного комплекса (сучья, тонкомерное дерево, горбыли и т. п.), так и вторичное древесное сырье (старая мебель, бумага, черный щелок и др.). В-четвертых, она не участвует в создании парникового эффекта как ископаемое топливо. Количество  $\text{CO}_2$ , выделяемое при сгорании древесного топлива, равно количеству  $\text{CO}_2$ , поглощаемому растениями в процессе фотосинтеза. В-пятых, она

экологически чистая. В-шестых, ее использование по сравнению с применением импортного топлива имеет ряд преимуществ: обеспечивается рост числа рабочих мест при проведении работ, связанных с заготовкой, транспортировкой, измельчением, хранением, сжиганием сырья и т. п.; осуществляется вложение финансовых средств в местную экономику; создается образ «Зеленого региона»; формируются предпосылки для развития новых направлений соответственно лесного машиностроения, научно-исследовательских и отраслевых конструкторских разработок; возрастает вероятность привлечения внешних инвестиционных субсидий для строительства теплофицированных установок, работающих на древесном топливе.

Развитие направления по энергетическому использованию древесной биомассы обеспечивается в том числе путем достижения национальных показателей Цели устойчивого развития (ЦУР) 7 «Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех».

Актуальные (в решение которых лесное хозяйство вносит вклад) для лесохозяйственного сектора задачи ЦУР 7 следующие:

- 7.1 «К 2030 г. обеспечить всеобщий доступ к недорогому, надежному и современному энергоснабжению»;
- 7.2 «К 2030 г. значительно увеличить долю энергии из возобновляемых источников в мировом энергетическом балансе»;
- 7.б «К 2030 г. расширить инфраструктуру и модернизировать технологии для современного и устойчивого энергоснабжения в развивающихся странах, в частности в наименее развитых странах, малых островных развивающихся государствах и развивающихся странах, не имеющих выхода к морю, с учетом их соответствующих программ поддержки».

Данные о динамике установленных показателей по выполнению Цели 7 с 2016 по 2018 г. приведены в табл. С3.1, исходя из которой можно сделать вывод о существенном вкладе лесного хозяйства в решение задачи 7.1 и необходимости развития данного направления на национальном и отраслевом уровнях.

Из общего объема производства топливно-энергетических ресурсов в стране существенное место занимает дровяная древесина (табл. С3.2).

Таблица С3.1

**Показатели по выполнению Цели 7, задачи 7.1 «Обеспечение всеобщего доступа к недорогому, надежному и современному энергоснабжению»**

Показатели	Год		
	2016	2017	2018
Доля населения, имеющего доступ к электроэнергии, %	100	100	100
Отношение объема производства (добычи) первичной энергии к объему валового потребления топливно-энергетических ресурсов (энергетическая самостоятельность), %	14,7	15,4	15,5
Доля доминирующего поставщика энергоресурсов в общем импорте топливно-энергетических ресурсов, %	99,2	99,2	99,3
Доля доминирующего вида топлива (газа) в валовом потреблении топливно-энергетических ресурсов, %	53,1	52,8	53,7
Доля доминирующего энергоресурса (газа) в производстве тепловой и электрической энергии, %	90,3	90,9	91,1
Отпуск топливно-энергетических ресурсов на душу населения:			
– электрической энергии, кВт·ч	704,0	696,5	692,7
– тепловой энергии, Мкал	2413,6	2451,8	2465,9
– газа природного, м <sup>3</sup>	207,5	204,8	206,7
– дров, пл. м <sup>3</sup>	0,17	0,20	0,21
– автомобильного бензина, кг	84,9	87,4	92,3
– дизельного топлива, кг	56,5	63,5	75,6

Таблица С3.2

**Производство (добыча) топливно-энергетических ресурсов, тыс. т у. т.**

Вид ТЭР	Год			
	2015	2016	2017	2018
Нефть	2352	2352	2360	2388
Газ природный попутный	371	355	338	348
Торф топливный	340	495	654	789
Дрова	1357	1457	1532	1721
Ветро-, гидро- и солнечная энергия	20	30	73	67
Прочие виды топлива и энергии	702	581	708	651
<i>Всего</i>	5143	5270	5665	5964

Реализация древесины учреждениями Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь в заготовленном виде на внутреннем рынке в 2017 и 2018 г. приведена на рис. С3.2.

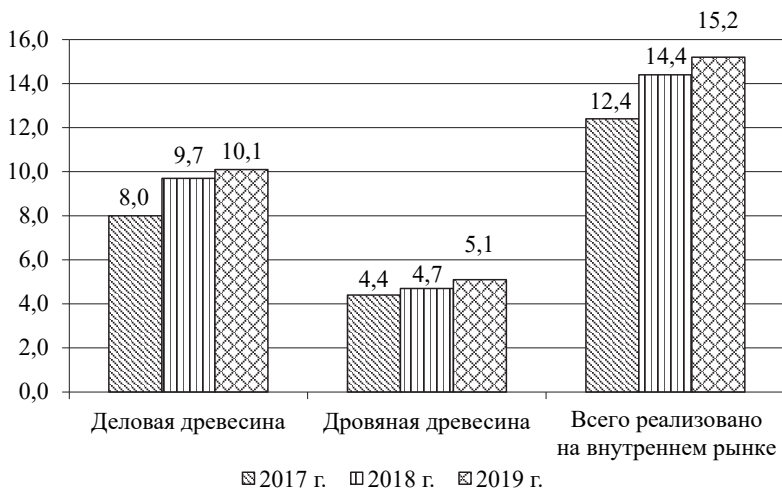


Рис. С3.2. Реализация древесины в Министерстве лесного хозяйства Республики Беларусь на внутреннем рынке в 2017 и 2018 гг.

Как видно из рис. С3.2, лесхозы страны ежегодно на внутреннем рынке реализуют около 5 млн м<sup>3</sup> дровяной древесины, при этом наблюдается рост данного показателя. Существенная часть сырья реализуется населению и организациям в виде дров топливных, оставшаяся часть измельчается в топливную щепу, которая используется для получения тепловой и электрической энергии в котельных и мини-ТЭЦ малых городов и в сельской местности.

В настоящее время в лесхозах отрасли действует 61 производство по изготовлению древесной щепы суммарной мощностью 1,76 млн м<sup>3</sup> в год. В значительной степени щепа используется для получения тепловой энергии на местных котельных в малых городах и сельской местности. Кроме того, в настоящее время функционирует 22 новых экспортоориентированных производства древесного топлива с высокой добавленной стоимостью, в том числе 10 производств по изготовлению пеллет и брикета мощностью 21,2 тыс. т в год; 11 производств по изготовлению колотых дров мощностью 33,6 тыс. м<sup>3</sup> в год.

На 2020–2021 гг. в системе организаций Министерства лесного хозяйства планировалось строительство 12 производств древесных топливных гранул. При благоприятной конъюнктуре рынка для данного вида возобновляемого древесного топлива можно ожидать дальнейший рост производства. Основным источником сырья, используемым для производства древесных топливных гранул, является мелкотоварная и низкокачественная древесина, а также отходы лесопильного и деревообрабатывающего производства. В результате планируемый объем производства древесных топливных гранул будет составлять около 276 тыс. т пеллет в год и позволит вовлечь в процесс переработки ежегодно около 570 тыс. м<sup>3</sup> низко-сортовой древесины и 235 тыс. м<sup>3</sup> отходов лесопиления.

### **3.2.1. Классификация древесного топлива**

Схема классификации наиболее широко распространенных видов древесного топлива по главным определяющим признакам приведена на рис. С3.3 [34].

По признаку первоначального происхождения древесное топливо подлежит разделению на два вида – первичное и вторичное. Первичное топливо подразделяется на топливо из спелого древо-стоя, из приспевающей и молодой древесины, а также топливо из частично переработанной древесины. Вторичное древесное топливо производится в целях утилизации ранее использованной деловой древесины в энергетических целях.

Необлагороженная форма топлива состоит, как правило, из древесных отходов основного производства (сучья, ветви, кора и т. п.), целенаправленно заготовленной топливной древесины (дровяная древесина, пни, корни и др.), а также частично переработанного топливного сырья для обеспечения удобства транспортировки и утилизации (пилено-колотые дрова, дробленка, щепа и т. п.).

Облагороженное топливо – специально произведенные из необлагороженного топлива продукты: брикеты (или цилиндры), гранулы и древесный порошок т. е. топлива с гораздо более высокими потребительскими свойствами, используемые на тепловых электростанциях, в черной и цветной металлургии или в бытовых печах.

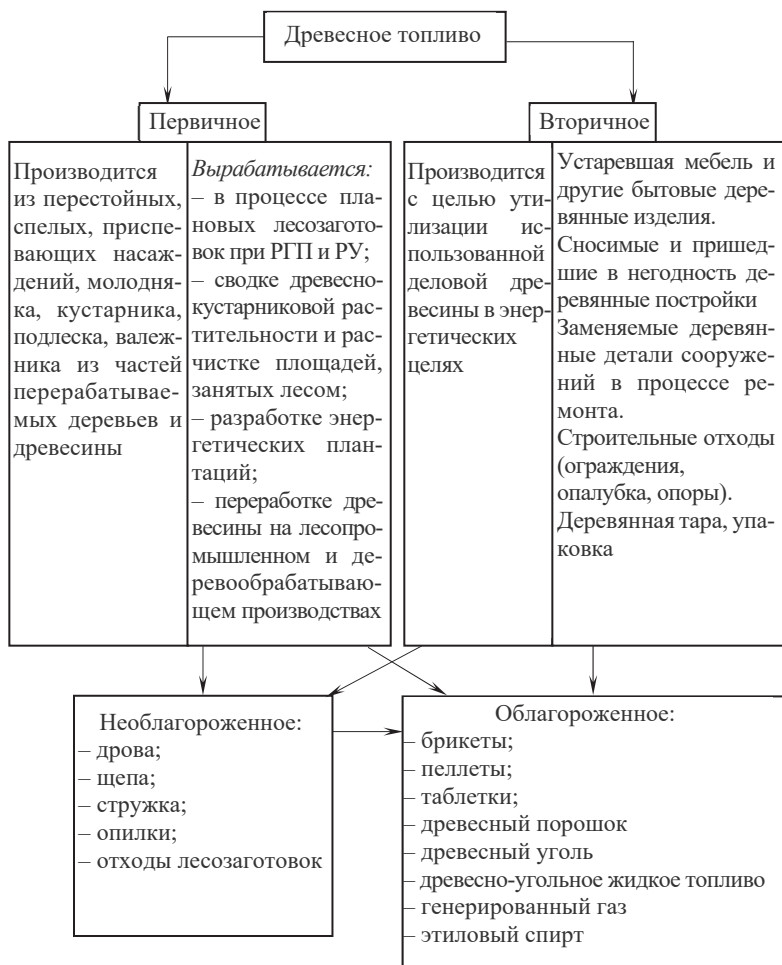


Рис. С3.3. Классификация древесного топлива [34]

Свойства древесной биомассы оказывают существенное влияние на конструкцию топочных устройств, в которых осуществляется ее сжигание. Кроме того, они в значительной мере определяют эффективность работы паровых и водогрейных котлоагрегатов, а также энергетических установок, работающих на древесном топливе.

### 3.2.2. Физико-химические и теплофизические показатели древесного топлива

Технологии, которые используются при сжигании древесного топлива в индивидуальных котлах, региональных котельных и ТЭЦ, предусматривают различные требования в отношении физических свойств древесного топлива, то есть к ее номинальным размерам, фракционному составу, содержанию влаги, золы и примесей. В соответствии с действующим в Беларуси документом ТУ ВУ 100195503.009-2018 «Щепа» для сжигания в котельных установках допускается щепа длиной от 5 до 50 мм, толщиной не более 30 мм по договоренности с потребителем. Массовая доля остатков на сите с отверстиями диаметром 50 мм – не более 30%. Массовая доля остатков может быть более 30% по договоренности между поставщиком и потребителем в зависимости от типа котельных установок. Содержание коры и гнили, влажность щепы, а также породный состав данным документом не нормируются, а устанавливаются в соответствии с договором поставки.

Значения качественных характеристик топливной щепы в первую очередь зависят от древесного сырья, из которого она производится. Физико-химические и теплотехнические свойства различных видов древесной биомассы имеют некоторые различия, оказывающие определенное влияние на эффективность их использования в энергетических целях. Это делает целесообразным изучение основных характеристик различных видов древесной биомассы.

Одним из основных показателей, влияющих на качество топлива, является влажность – количественный показатель содержания влаги в древесном топливе. В теплотехнических расчетах принято использовать **относительную (рабочую) влажность** – отношение массы влаги, содержащейся в древесине, к массе влажной древесины:

$$W^p = \frac{100 \cdot W_a}{100 + W_a}, \quad (C3.1)$$

где  $m$  – масса влажной древесины, г;  $m_0$  – масса абсолютно сухой древесины (высушенной до постоянной массы при температуре  $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ , г.

Помимо относительной, различают абсолютную влажность – отношение массы влаги, содержащейся в древесине, к массе сухой древесины:

$$W_a = \frac{m - m_0}{m_0}. \quad (\text{С3.2})$$

Пересчет абсолютной влажности в относительную и наоборот осуществляется по формулам:

$$W^p = \frac{100 \cdot W_a}{100 + W_a}; \quad (\text{С3.3})$$

$$W_a = \frac{100 \cdot W^p}{100 - W^p}. \quad (\text{С3.4})$$

Древесина гигроскопична, то есть способна поглощать и удерживать в себе влагу из воздуха. Связанная влага находится внутри стенок клеток и удерживается физико-химическими связями, удаление этой влаги требует дополнительных затрат энергии и отражается на большинстве свойств древесинного вещества. Максимальное количество такой влаги (связанной воды) в древесине может составлять 30% массы сухой древесины ( $W_a = 30\%$ ) и называется пределом гигроскопичности древесины. Плотность топливной щепы при снижении влажности выше предела гигроскопичности снижается примерно в 2 раза интенсивнее, чем при дальнейшем снижении влажности ниже предела гигроскопичности. Кроме того, в растущей древесине и древесине, долгое время находящейся в воде, содержится свободная влага в полостях клеток и в межклеточных пространствах. Свободная влага значительно легче удаляется, поскольку удерживается только механическими связями и оказывает меньшее влияние на механические свойства древесины.

Относительная влажность свежесрубленной стволовой древесины зависит от породы древесины и составляет 33–50%. При длительном нахождении в воде влажность стволовой древесины может превышать 50%. В процессе хранения на воздухе влажность древесины снижается и зависит от параметров окружающей среды, то есть становится равновесной. В целом при хранении влажность древесины может быть снижена до 13–17% [33]. Влажность древе-



сины, подвергшейся гниlostным процессам, может достигать больших значений из-за разрушения структуры, повышения пористости и, следовательно, увеличения предела гигроскопичности. Значение влажности элементов кроны – сучьев, ветвей, верхинки близко к 50% [33].

**Зольность** является важной характеристикой топливной древесины. Зольность – это содержание в топливе минеральных веществ, остающихся после полного сгорания всей горючей массы. Разделяют внутреннюю и внешнюю зольность. Внутреннюю зольность составляют минеральные компоненты, содержащиеся в составе биомассы растущего дерева, внешнюю – минеральные примеси, попавшие в древесную биомассу в процессе ее заготовки и переработки. Внутренняя зола является тугоплавкой с температурой плавления выше 1450°C и сильно не осложняет энергетическое использование древесины. К тому же внутренняя зольность незначительна и для стволовой древесины в среднем составляет 0,7%, сучьев, ветвей и верхин – 0,5%, коры – в среднем 3%.

В результате анализа имеющихся данных о внутренней зольности различных частей деревьев сосны составлением пропорции было вычислено значение внутренней зольности щепы, получаемой при измельчении дерева целиком – 1,16%. При вычислении использовались следующие исходные данные: зольность коры сосны – 3,2%; внутренняя зольность веток и сучьев – 0,5%; количество коры в средней и комлевой части дерева – 12%; содержание коры и луба сучьев, ветвей и верхин – 3%; при этом если взять за 100% дерево, отделяемое от пня при рубке, то 28% занимают сучья, ветки и верхина и 72% – средняя и комлевая часть дерева [33].

**Внешние минеральные включения** у отходов лесозаготовок могут достигать 20%. Внешние минеральные включения, как правило, являются легкоплавкими, усложняют эксплуатацию топочных устройств и даже снижают их эффективность. Поэтому технология заготовки, транспортировки и хранения древесины энергетического назначения должна обеспечивать минимальное попадание минеральных включений в древесную биомассу.

Еще одной важной характеристикой древесной биомассы является ее плотность или удельный вес единицы объема. Плотность зависит от структуры и для различных пород древесины различна как

во влажном состоянии, так и в абсолютно сухом. Плотность же самого древесинного вещества одинакова для всех пород древесины и равна  $1,53 \text{ г/см}^3$  – это отношение массы вещества, образующего стенки клеток, к занимаемому им объему.

**Плотность стволовой древесины** зависит от коэффициента разбухания (этот коэффициент различен для разных пород и для сосны равен 0,5), влажности и для сосны вычисляется по формулам [33]:

$$\rho_w = 0,946 \cdot \frac{100}{100 - 0,5 \cdot W^p} \cdot \rho_{12}, \quad W^p < 23; \quad (\text{C3.5})$$

$$\rho_w = 0,823 \cdot \frac{100}{100 - W^p} \cdot \rho_{12}, \quad W^p > 23, \quad (\text{C3.6})$$

где  $\rho_{12}$  – плотность при абсолютной влажности 12%.

Как видно из формул (3.5) и (3.6), изменение плотности древесины при изменении ее влажности более значительно при влажности выше предела гигроскопичности. Величина плотности стволовой древесины при стандартной влажности (12%) и в абсолютно сухом состоянии является справочной величиной, для сосны она составляет:  $\rho_{12} = 500 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{10} = 470 \text{ кг/м}^3$ .

К топливной щепе применимы все теплотехнические характеристики, используемые для любого другого твердого топлива. Различают рабочую, сухую и горючую массу топлива. Рабочей массой топлива называют древесную биомассу в том виде, в котором она подается в топочные устройства. Состав рабочей массы древесного топлива характеризуется следующим уравнением:

$$C^p + H^p + O^p + N^p + A^p + W^p = 100\%, \quad (\text{C3.7})$$

где  $C^p$ ,  $H^p$ ,  $O^p$ ,  $N^p$  – содержание углерода, водорода, кислорода, азота, %;  $A^p$ ,  $W^p$  – массовый процент содержания в топливе соответственно золы и влаги.

Сухая масса древесного топлива, высушенного до абсолютно сухого состояния, выражается уравнением

$$C^c + H^c + O^c + N^c + A^c = 100\%. \quad (\text{C3.8})$$

Горючая масса древесного топлива, из которой удалена вся влага и зола, выражается уравнением

$$C^r + H^r + O^r + N^r = 100\%. \quad (C3.9)$$

**Удельная теплота сгорания** древесной биомассы – важнейшая теплотехническая характеристика, определяющая целесообразность использования ее в качестве топлива. Особенностью стволовой древесины является то, что ее горючая масса имеет стабильный состав, практически не зависящий от породы древесины. Поэтому при теплотехнических расчетах можно принимать следующий состав горючей массы стволовой древесины: углерод  $C^r = 51\%$ , водород  $H^r = 6,1\%$ , кислород  $O^r = 42,3\%$ , азот  $N^r = 0,6\%$ . Следовательно, низшая удельная теплота сгорания горючей массы стволовой древесины практически постоянна и равна  $18,9$  МДж/кг ( $4510$  ккал/кг).

Таким образом, теплоту сгорания рабочей массы стволовой древесины для любой влажности и зольности можно вычислить по формуле [33]

$$Q_n^p = 18\,900 - 214W^p - 189A^p, \text{ кДж/кг}. \quad (C3.10)$$

Если же элементарный состав древесного топлива отличается от вышеприведенного, к примеру, в случае поражения гнилью содержание углерода может увеличиваться, то низшую теплоту сгорания рабочей массы можно вычислить по формуле Д. И. Менделеева:

$$Q_n^p = 340C^p + 1030H^p - 109O^p - 25W^p, \text{ кДж/кг}. \quad (C3.11)$$

Теплота сгорания коры и древесной гнили рассчитывается по формуле [33]

$$Q_n^p = Q_n^r \left( \frac{100 - W^p - A^p}{100} \right) - 25W^p, \text{ кДж/кг}. \quad (C3.12)$$

Теплота сгорания элементов кроны для приближенных расчетов принимается равной теплоте сгорания стволовой древесины.

К важным особенностям древесной биомассы как топлива следует отнести: отсутствие в ней серы и фосфора, а следовательно, возможность понижения температуры уходящих газов до  $100\text{--}120^\circ\text{C}$ ; гигроскопичность; выход летучих при сжигании древесного

топлива достигает 85%; незначительное содержание внутренней золы – менее 1,2%.

**Теплотворная способность** – это количество энергии, полученной на единицу массы или объема древесного топлива при полном его сгорании, называется теплотой сгорания. Существуют различные значения теплоты сгорания: высшая теплота сгорания, низшая теплота сгорания и фактическое значение теплоты сгорания.

Теплота сгорания топлива определяется в тепловых агрегатах, в процессе полного сгорания точно определенного количества древесного топлива при постоянном давлении и при конденсации исходного содержания влаги в древесине и водяного пара, который образуется в процессе сгорания топлива (около 0,5 кг воды на 1,0 кг сухого вещества). В качестве единиц измерения данной величины часто используются мегаджоуль на килограмм (МДж/кг) или гигаджоуль на тонну (ГДж/кг).

**Низшая теплота сгорания** определяется по количеству тепла, выделяемого при полном сгорании точно определенного количества древесного топлива за вычетом тепла на парообразование (около 0,5 кг воды на 1,0 кг сухого вещества). Это означает, что данный параметр не учитывает тепло, затрачиваемое на парообразование, необходимое для конденсации пара в топочном газе. По данному показателю различные части древесной биомассы значительно отличаются друг от друга (табл. С3.4).

Таблица С3.3

**Средние значения низшей теплоты сгорания основных видов биомасс**

Вид биомассы	Низшая теплота сгорания абсолютно сухого вещества, ГДж/т
Древесина без примесей	19,5
Топливная щепка	19,2
Кора	18,0
Пеллеты	19,0

На рис. С3.4 приведен график зависимости низшей теплотворной способности (ГДж/т) от содержания влаги (%) в общем весе.

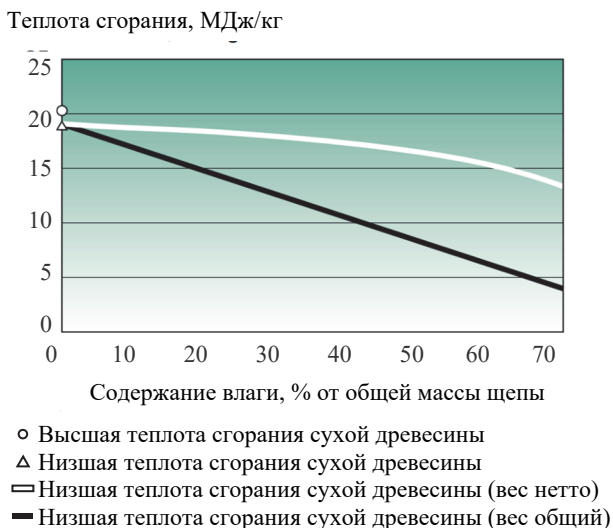


Рис. С3.4. Зависимость низшей теплотворной способности щепы от содержания влаги в общем весе щепы

### 3.2.3. Оборудование для сжигания древесного топлива

Технологии энергетического использования древесины имеют разную степень распространенности, освоенности и эффективности. Предпринимаются попытки разработки новых технологий и усовершенствования уже известных.

Можно выделить следующие основные технологии сжигания древесины.

#### 1. Прямое сжигание древесного топлива:

- сжигание древесины в топках паровых или водогрейных котлов производственно-отопительных котельных;
- сжигание древесины в топках паровых котлов промышленных тепловых электростанций, с конденсационными турбинами, турбинами с противодавлением или с регулируемым отбором.

#### 2. Производство из древесины генераторного газа:

- выработка из древесины генераторного газа и использование его в качестве топлива в паровых или водогрейных котлах;
- выработка из древесины генераторного газа и использование его в качестве топлива для двигателя внутреннего сгорания, приводящего в движение электрический генератор.

3. Производство жидкого топлива из древесины:

– выработка из древесины метилового спирта и использование его в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания;

– выработка из древесины этилового спирта и использование его в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания.

4. Производство из древесины твердого топлива с улучшенными потребительскими свойствами (древесный уголь, топливные гранулы (пеллеты) и брикеты):

– выработка из древесины древесного угля как товарной продукции – топлива с гораздо более высокими потребительскими свойствами и использование его на тепловых электростанциях, удаленных от места лесозаготовок;

– выработка древесных топливных гранул (пеллет) из древесины.

Самым распространенным в мире направлением использования древесины в качестве источника энергии является ее прямое сжигание в топках паровых и водогрейных котлов. Чтобы обеспечить полное сжигание топлива с наименьшими выбросами, были разработаны различные типы сжигания для установок разного размера (мощности), которые существенно дифференцированы по типу переработки и подачи топлива, а также по типу камеры сгорания. Автоматическая подача топлива и контролирование горения сделали легким управление такими установками. Для разных видов топлив используются различные способы сжигания. При выборе типа топочного устройства следует принимать во внимание влажность и зольность топлива, фракционный состав и тепловую мощность топки.

Установки, предназначенные для сжигания биомассы, представляют собой сложные системы, содержащие большое число компонентов. Обеспечение рациональной и экономически эффективной эксплуатации таких установок требует выполнения на надлежащем профессиональном уровне инженерно-проектировочных и строительно-монтажных работ, включая определение параметров мощности установок.

Основные компоненты установки, предназначенной для сжигания биомассы (дополнительные компоненты указаны в скобках), включают:

– склад топлива (склад длительного хранения, склад ежедневного пользования);

- систему подачи и погрузки и разгрузки топлива;
- топку для сжигания биомассы;
- котлоагрегат (водогрейный котел, паровой котел, котел с тепловым маслом);
- резервный котлоагрегат (котлоагрегат для использования при пиковых нагрузках (например, котел, работающий на нефтяном топливе));
- систему утилизации тепла (экономайзер (устройство для конденсации топочного газа));
- систему золоудаления и предварительной обработки золы;
- систему очистки топочного газа;
- дымовую трубу;
- оборудование системы управления и воспроизведения данных;
- электротехнические и гидравлические устройства (аккумулятор тепла, сеть трубопроводов установок системы центрального теплоснабжения).

Типовая схема котельной с централизованным теплоснабжением с наклонной решеткой с тепловой мощностью 4 МВт, работающей на древесной щепе, представлена на рис. С3.5. Оснащена конденсатором дымовых газов, который добавляет еще 0,8 МВт тепла при 50%-ной влажности древесной щепы.

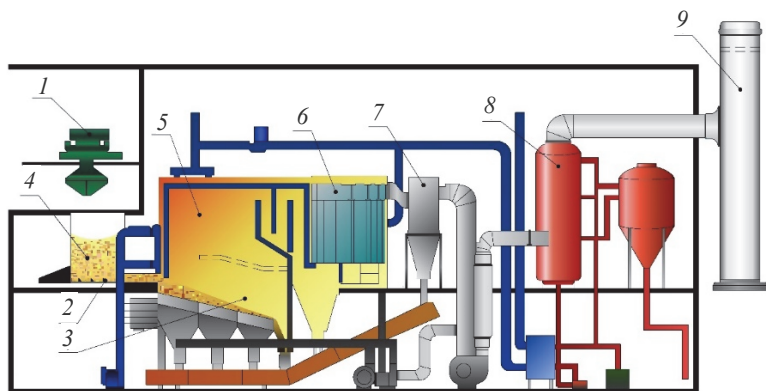


Рис. С3.5. Типовая схема котельной с централизованным теплоснабжением, работающей на биомассе:

- 1 – кран; 2 – бункер; 3 – подающий конвейер; 4 – топка;
- 5 – колосниковая решетка; 6 – паровой котел; 7 – мультициклон;
- 8 – конденсация дымовых газов; 9 – дымовая труба

Топливо сначала доставляется из хранилища в зону системы сжигания, а затем подается в топку. Топливо может транспортироваться из хранилища в камеру сгорания колесными погрузчиками (наиболее простой вариант, подходящий для небольших установок), кранами и конвейерами различных типов. Топливо может подаваться в печь гидравлическими питателями (удобными для древесной щепы), шнековыми питателями (для пеллет, опилок), распределительными или пневматическими кочегарами (для менее однородных видов топлива), конвейерами и т. д. Зола, оставшаяся после сжигания топлива, должна быть удалена из топочного агрегата. Чаще всего она удаляется из топочного агрегата с помощью конвейеров (шнековых, ленточных и др.). В любом случае, единого решения для системы подачи топлива не существует, и выбор производится в каждом конкретном случае. Определяющими критериями при этом выборе являются особенности преобладающего топлива: размер частиц, содержание влаги и различных вредных веществ, а также их влияние на элементы системы сгорания.

Для сжигания древесного топлива в лесной промышленности и на предприятиях коммунальной теплоэнергетики наибольшее распространение получили топки, основанные на слоевом способе сжигания (рис. С3.6).

Конструкции этих топочных устройств наиболее просты, надежны в эксплуатации и могут быть приспособлены к часто изменяющемуся фракционному составу и влажности древесного топлива.

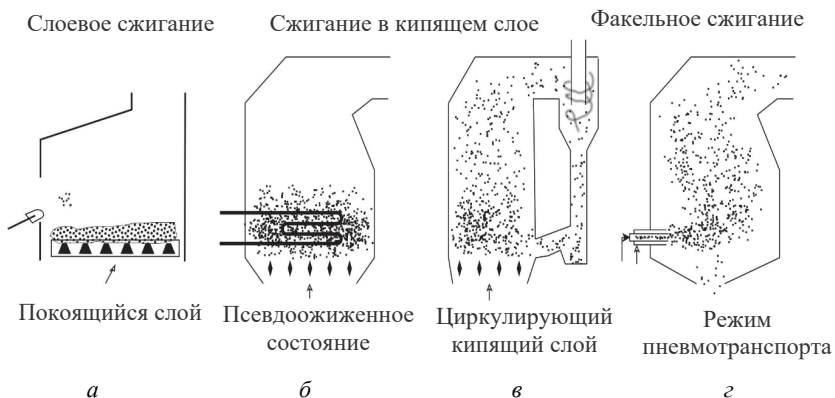


Рис. С3.6. Способы сжигания топлива



Топки, работающие по слоевому способу, наиболее подходящие для автоматизированных котельных.

Слоевой способ сжигания древесной биомассы может быть реализован путем использования следующих принципов организации слоя [35]:

- сжигание топлива в горизонтальном слое;
- сжигание топлива в наклонном слое;
- сжигание топлива в вертикальном слое;
- кучевое сжигание топлива;
- сжигание топлива в зажатом слое.

Различают три типа оборудования для сжигания твердого биотоплива:

- для облагоустроенного биотоплива (древесные топливные гранулы и брикеты) с влажностью 5–15%;
- сухого топлива с влажностью 15–35%;
- влажного топлива с влажностью 35–60%.

Нужно отметить, что чем выше влажность топлива, тем дороже обходится производство тепла, тем больше котел, топка, мощность вентиляторов, склад для хранения топлива, риск смерзания и т. д. Кроме влажности, определяющими характеристиками топлива при выборе оборудования являются форма и зольность.

В зависимости от влажности сжигаемого топлива слоевые топки можно разделить на два класса:

- топки, в которых сжигают топливо толстыми слоями и в которые топливо подается из предтопки на решетку с помощью специальных механизмов и подающих устройств. Такие топки могут использоваться при сжигании топлива влажностью до 65% независимо от его фракции. Но у такого оборудования низкая эффективность (коэффициент полноты сгорания) – 50–60%. В некоторых топках топливо высокой влажности может подаваться в основание слоя с помощью гидравлических цилиндров, что обеспечивает медленное и полное сгорание отходов. Если в конструкции топки предусмотрена не одна, а несколько камер сгорания, это позволяет удалять золу из одной камеры, в то время как в других происходит сжигание отходов;
- топки с тонким слоем для сжигания топлива низкой влажности. В таких топках тонкий слой топлива распределяют по решетке. Существуют наклонные решетки, решетки с отверстиями и другие

их разновидности, которые позволяют топливу продвигаться вдоль решетки в камеру сгорания, при этом первичный воздух к слою поступает снизу, через решетку.

В зависимости от относительного положения топлива и решеток, а также от типа последних различают топки с неподвижным слоем и неподвижными решетками; с относительным перемещением топлива вдоль неподвижных решеток и с подвижным вертикально перемещающимся слоем; с периодическим перемещением и перемешиванием топлива на неподвижных горизонтальных решетках; с подвижными колосниковыми решетками прямого и обратного хода и др. Например, такие, как вращающаяся колосниковая решетка с нижней подачей топлива, запатентованная одной из известных финских компаний. В ней перемещение решетки регулируется таким образом, чтобы обеспечить распределение топлива ровным слоем по всей поверхности решетки.

Для каждой технологии сжигания со временем сформировался такой диапазон мощностей, при котором применение данной технологии технически или экономически является наиболее целесообразным. В условиях Финляндии, как правило, котлы мощностью до 5 МВт выполняются со слоевой топкой, при большей мощности предпочтение отдается топкам с кипящим слоем [35] (табл. С3.4).

Таблица С3.4

**Характерные мощности котлов при различных способах сжигания в Финляндии**

Технология сжигания	Мощность, МВт	
	минимальная	характерная
Топка с неподвижной решеткой	0,01	0,05–1
Механическая слоевая топка	0,8	2–15
Пузырьковый кипящий слой	1	>5
Циркулирующий кипящий слой	7	>20
Газификация топлива	0,3	2–15

Неподвижные решетки применяются только в установках малой мощности. В этих системах перемещение топлива осуществляется при подаче топлива и под воздействием силы тяжести (при наклоне решетки). Так как перемещение и распределение топлива

на неподвижной колосниковой решетке не поддается регулированию, эта технология более не применяется в современных установках, предназначенных для сжигания топлива.

В основном неподвижная решетка устанавливается в топке под таким углом, который обеспечивает движение топлива вдоль решетки вниз с зоны подсушки до зоны горения. Угол наклона неподвижной решетки примерно равен углу естественного откоса используемого топлива (для сжигания воздушно-сухого кускового торфа, опилок и щепы – 32–36°).

Колосниковая наклонная решетка состоит из ориентированных по направлению движения топлива элементов решетки (колосников), а ступенчатая решетка – из расположенных поперек движения топлива ступенек (рис. С3.7). Ступенчатая решетка особенно хорошо подходит для сжигания опилок и влажного топлива.

*Топки с механической (подвижной) решеткой.* Широкое применение получили топки с наклонно-переталкивающими решетками различных модификаций (рис. С3.8) [36].

Кроме наклонных решеток с односторонним наклоном, применяются также наклонные решетки, имеющие конусную форму, по которым топливо подается шнековым питателем снизу или же за счет силы тяжести – сверху.

Подвижная колосниковая решетка представляет собой наклонную решетку, состоящую из чередующихся фиксированных и подвижных колосниковых элементов [37]. Чередую горизонтальное поступательное и возвратное перемещение подвижных секций, топливо передвигают по поверхности решетки. Таким образом осуществляется перемешивание несгоревших и сгоревших частиц топлива, обновление поверхности топливного слоя и достигается более равномерное распределение топлива по поверхности решетки (что необходимо для обеспечения равномерного распределения первичного воздуха в слое топлива). Как правило, решетка делится на несколько секций, которые могут двигаться с различной скоростью в зависимости от стадии сгорания топлива. Перемещение колосников осуществляется с помощью гидроцилиндров. У колосников решетки, изготовленных из жаропрочных стальных сплавов, узкие каналы в боковых стенках, через которые подается первичный воздух. Колосники должны иметь минимально возможную ширину с тем, чтобы максимально эффективно обеспечить распределение воздуха по всему слою топлива.

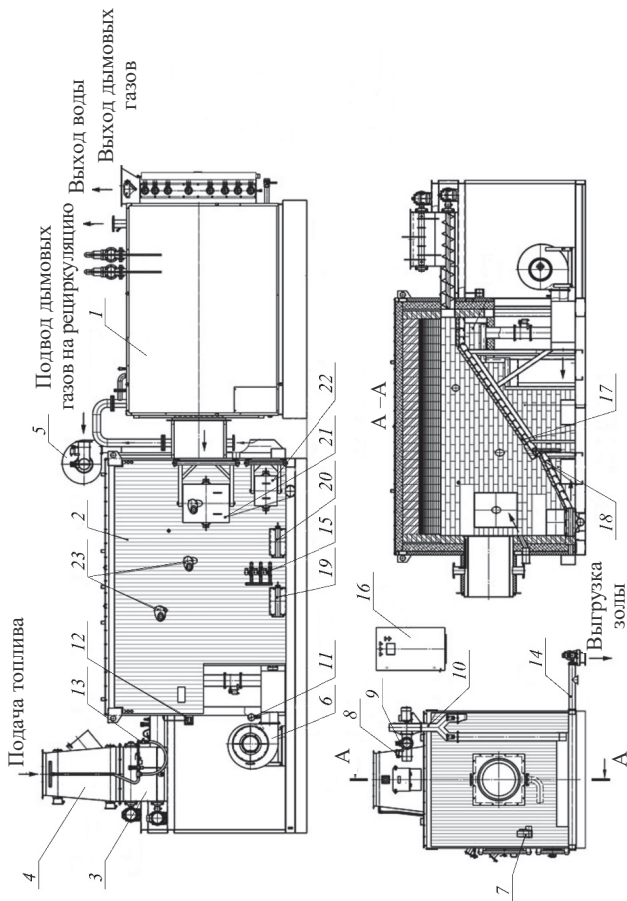


Рис. С3.7. Топка с неподвижной ступенчатой решеткой:

- 1 – котел; 2 – топка; 3 – установка топливоотдачи; 4 – бункер верхний; 5, 6, 7 – вентилятор дугьевой; 8 – заслонка воздушная; 9 – заслонка рециркуляции дымовых газов; 10 – тройник с рециркуляционными заслонками; 11 – напормер; 12 – измеритель-регулятор; 13 – система жаротушения; 14 – шнек золоудаления; 15 – блок клапанов; 16 – ящик управления; 17 – колосниковая решетка; 18 – сопла продувочные; 19, 20 – двери золельные; 21, 22 – двери топочные; 23 – гляделки

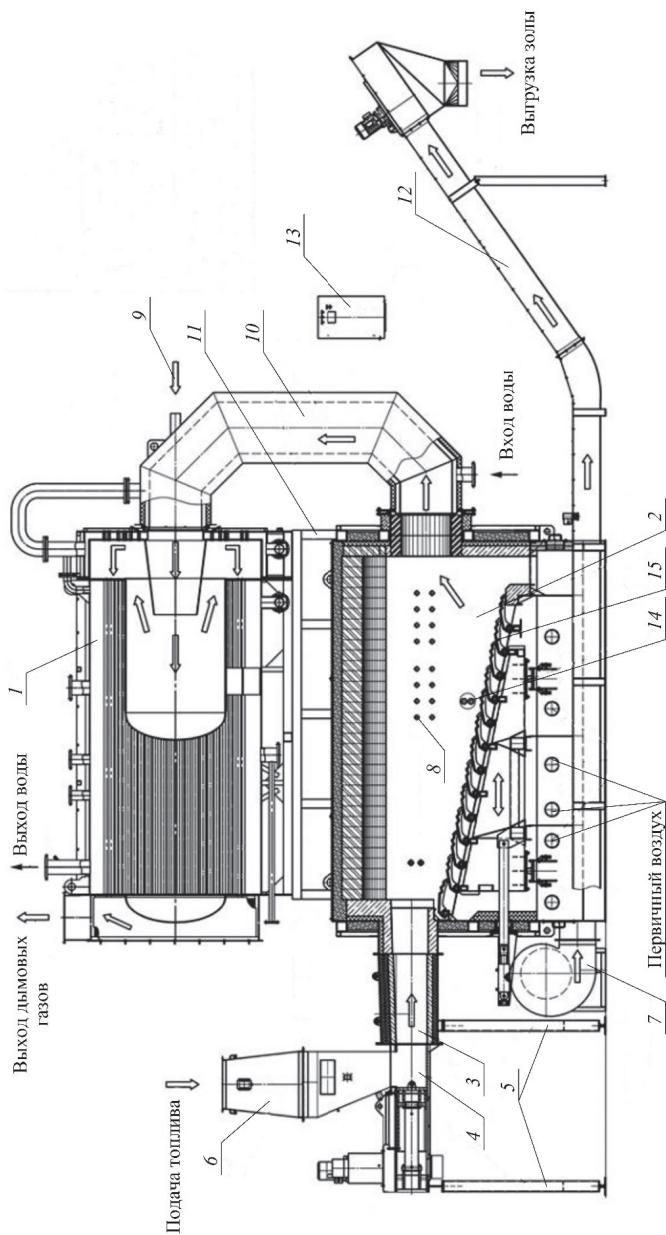


Рис. С3.8. Топка с подвижной решеткой:

- 1 – котел; 2 – топка механизированная; 3 – переход; 4 – толкатель; 5 – опоры; 6 – бункер загрузочный;
- 7, 8, 9 – вентилятор дутьевой; 10 – газоход соединительный; 11 – каркас; 12 – транспортер; 13 – ящик управления;
- 14 – датчик уровня топлива (излучатель/приемник); 15 – подвижная колосниковая решетка; I, II, III – зоны

В топках с наклонно-переталкивающими решетками реализованы как двух-, так и трехступенчатые схемы сжигания топлива, при этом в некоторых случаях для дополнительного снижения выбросов оксидов азота применяется рециркуляция дымовых газов.

Необходимо отметить, что котлы с наклонно-переталкивающими решетками и механическими питателями требуют установки более сложной и дорогой системы автоматического регулирования. Для поддержания оптимальных режимов работы ее следует оснащать не только датчиком для определения содержания кислорода в уходящих газах, но и оксидов углерода и азота [36].

Характерным примером топки с механической решеткой является топка TRF шведской фирмы KMW ENERGI AB, перемещение элементов решетки которой осуществляется в шахматном порядке, что обеспечивает продвижение и равномерную толщину слоя топлива. Топка комплектуется отдельно от котла. Она не содержит поверхностей нагрева, обеспечивая таким образом возможность сжигания влажного топлива (35–55%). Керамические поверхности топки охлаждаются воздухом, подаваемым на горение, что приводит к предварительному его подогреву и одновременно к улучшению условий горения.

Для сжигания высоковлажного топлива поверхности топки, как правило, должны быть неохлаждаемыми и изготавливаться из керамических материалов. Рабочая температура этих поверхностей достаточно высока, чтобы подводимое от них излучением тепло обеспечивало сушку топлива, выделение летучих веществ и создание подходящих условий для их горения как на решетке, так и в самой зоне горения.

При кратковременном сжигании сухого топлива в таких неохлаждаемых топках происходит быстрый рост температуры как в слое топлива, так и в топочном объеме. В результате может начаться процесс плавления золы, шлакование зазоров и самой решетки, а также повреждение обмуровки топки или даже ее расплавление.

**Топки с конусной решеткой.** Запатентованная Wärtsilä топка BioGrate с конусной решеткой, у которой нижняя подача позволяет сжигать топлива, имеющие как очень низкую, так и высокую влажность (до 65%), показана рис. С3.9.

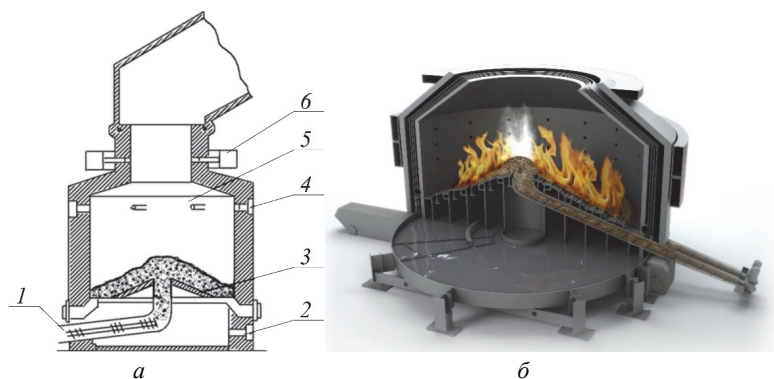


Рис. С3.9. Схема (а) и общий вид (б) топки с конусной решеткой и нижней центральной подачей топлива:

- 1 – шнек для подачи топлива; 2 – подвод первичного воздуха;  
 3 – колосниковая решетка; 4 – тангенциальный подвод вторичного воздуха;  
 5 – циклонная камера; 6 – подвод третичного воздуха унесенной мелочи

При технологии сжигания BioGrate топливо подается шнековым питателем в центральную часть конусной решетки, откуда далее перемещается вниз. При этом применяются практически любые биотоплива, которые могут быть поданы в топку шнековым питателем.

Конусная решетка состоит из концентрических колец или ступеней, причем неподвижные и подвижные ступени перемещаются, и каждая вторая подвижная ступень решетки вращается в противоположном направлении: одна – по часовой стрелке, другая – против. Движение решетки BioGrate обеспечивает высокую равномерность толщины слоя топлива по всей окружности и поверхности решетки. Движение ступеней решетки осуществляется за счет гидравлических приводов.

Топки с подвижными колосниковыми решетками могут использоваться для сжигания различных видов биотоплива. Топки с подвижными решетками с воздушным охлаждением, в которых первичный воздух подается для охлаждения колосников решетки, применяются для сжигания влажной коры, опилок и древесной щепы. Для сжигания сухого биотоплива и биотоплива с низкой температурой спекания золы рекомендуется использовать установки с колосниковыми решетками с водяным охлаждением. В отличие от

систем с колосниковыми решетками с движущимся полотном, в этих топках более сложно точно регулировать периодичность перемещения колосников решетки. Чрезмерно высокая периодичность перемещения колосников может привести к высокой концентрации несгоревшего углерода в золе или недостаточному покрытию решетки. Контроль высоты слоя топлива, выполняемый с помощью инфракрасных лучей на различных участках решетки, позволяет осуществлять точное регулирование периодичности перемещения колосников. Зола удаляется под решеткой во влажном или сухом виде. Как правило, управление работой установок осуществляется в полностью автоматическом режиме.

Недостатками слоевого процесса сжигания топлива являются:

- необходимость в громоздкой колосниковой решетке, не вписывающейся при большой мощности в габариты котлоагрегата;
- возникновение, в некоторых случаях, прогаров слоя и «кратерного» горения, что лимитирует допустимое тепловое напряжение колосниковых решеток и, соответственно, ограничивает мощность установок.

**Сжигание в кипящем слое.** Эта технология предназначена для сжигания низкокалорийных топлив. Она позволяет сжигать все виды биотоплива, кроме пылевидного и топлива с высокой зольностью.

Топки с кипящим слоем (КС) занимают промежуточное положение между топками со слоевым и факельным способами сжигания. Впервые метод сжигания в КС предложил Ф. Венклер (США).

Сущность метода заключается в сжигании частиц топлива, находящихся во взвешенном состоянии, за счет давления воздуха, подаваемого снизу через решетку. Количество горючего материала обычно составляет небольшую долю от общей массы слоя. Основа слоя – инертный материал (зола) (при сжигании высокозольных топлив).

Сжигание топлив и отходов производства по схеме КС является перспективным направлением развития котельно-топочной техники. Наибольшее распространение в мировой практике нашли одноступенчатые топки с КС при атмосферном давлении. Можно выделить три основных вида КС: стационарный, циркулирующий и расширяющийся.



Стационарный, или пузырьковый, КС обычно используется для котлов мощностью 1–20 МВт. Циркулирующий КС – для котлов мощностью 20–500 МВт.

В Финляндии, Швеции котлы с кипящим слоем используются для утилизации отходов лесной промышленности (щепы, коры, опилок) и для сжигания фрезерного и кускового торфа. В США, Англии, Франции котлы с кипящим слоем все шире применяются на ТЭС.

В США мощность котельных установок с кипящим слоем достигла 200 МВт. На рис. С3.6, в показана схема топки с циркулирующим кипящим слоем.

Преимущества технологии сжигания в «кипящем» (псевдооживленном) слое:

- возможность работы на топливах с низкой энергетической ценностью и высокой влажностью, низкой температурой спекания золы;
- высокая стабильность процесса сжигания сложных видов топлива; высокие экологические показатели процесса сжигания, что особенно важно для утилизации сложных и сильно загрязненных видов топлива.

Недостатки:

- высочайшая сложность конструкции теплогенератора, соответственно, высокая цена и длительный срок окупаемости;
- максимальная занимаемая площадь и масса оборудования;
- максимальное время старта и остановки, низкая скорость изменения мощности;
- максимальные эксплуатационные расходы;
- средний срок службы футеровки вследствие ее прямоугольного сечения.

Недостатком также является и то, что топка, циклоны, охладители должны иметь специальную облицовку, при этом скорость нагрева не должна превышать 50°С/ч, что приводит к длительным пускам котлов и большому расходу высококалорийного топлива.

### **3.3. Производство древесных плит**

Производство древесных композиционных материалов является сравнительно новой и динамично развивающейся отраслью химической переработки древесины. Возникла эта отрасль в связи

с дефицитом и ростом стоимости лесоматериалов, а также стремлением максимально использовать отходы древесины. Наравне с другими мероприятиями по сокращению отходов переработки древесины начались работы, в первую очередь за рубежом, по получению из древесных отходов полноценных заменителей древесины. Необходимой предпосылкой для широкомасштабного промышленного освоения процессов производства древесных композиционных материалов (плит и пластиков) явилось развитие химии вообще и химии древесины и синтетических полимеров в особенности.

Композиционными называются материалы, состоящие из двух или более взаимно нерастворимых компонентов (фаз), имеющих между собой границу раздела. Взаимодействие на границе раздела фаз приводит к образованию межфазного слоя, придающего материалу новые свойства при сохранении индивидуальности каждого компонента. Свойства композиционных материалов в значительной степени зависят от прочности адгезионной связи, возникающей между приведенными в контакт разнородными поверхностями. Характер этих связей может быть различным, при этом решающая роль принадлежит межмолекулярным взаимодействиям на границе раздела фаз.

*Древесные композиционные материалы (ДКМ)* – это материалы, содержащие в качестве армирующего наполнителя древесину. Древесина имеет сложный химический состав и анатомическое строение. Это – пористый субстрат, состоящий из органических, в основном высокомолекулярных, веществ с разными функциональными группами. Поэтому задача любой технологии получения ДКМ – использовать особенности этого активного наполнителя.

Древесный наполнитель придает прочность материалу. Воспринимая механические нагрузки, связующее (вязущее) отвечает за стабильность древесины при сорбции и десорбции влаги, заполняя ее поры и пустоты, и является веществом, осуществляющим адгезионное взаимодействие. В зависимости от вида наполнителя современные композиционные материалы подразделяют на три группы.

К *первой группе* относятся материалы на основе массивной древесины. Представитель этой группы – модифицированная древесина (рис. С3.10, а). Модифицирование – это процесс направленного изменения природных свойств древесины. Сочетание механического

уплотнения древесины с одновременным нагревом (прессование) и различными физико-химическими методами модифицирования (пропитка минеральными маслами, ацетилирование, модифицирование формальдегидом, карбамидом, аммиаком, различными олигомерами и т. д.) позволяет получать материалы с очень высокими механическими, физическими, эксплуатационными свойствами и повышенной формостабильностью.

Во *вторую группу* входят композиционные материалы на основе лущеного шпона, пропитанного синтетической смолой и спрессованного при высокой температуре и давлении с получением пластика (рис. С3.10, б).

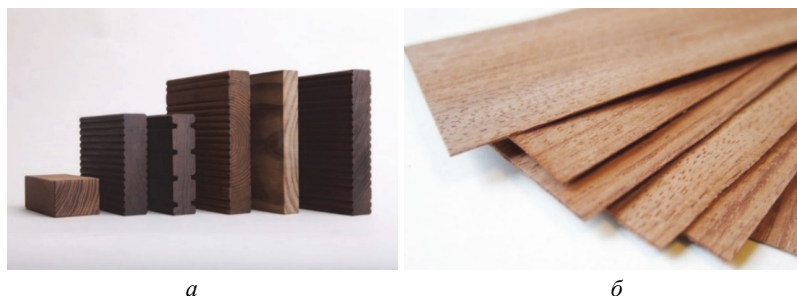


Рис. С3.10. Древесные композиционные материалы:  
а – термически модифицированная древесина; б – лущеный шпон

К *третьей группе* относятся материалы, наполненные древесными частицами – древесным волокном, стружкой, дробленкой, опилками, корой и др. Эта группа ДКМ является самой распространенной. Среди них наиболее представительны:

- древесноволокнистые плиты;
- волокна, которые используются для получения гипсоволокнистых и древесноволокнистых плит;
- дробленка, входящая в состав арболита;
- древесная шерсть, применяемая для фибролита и представляющая собой ленты длиной 500 мм, шириной – 2–5 мм и толщиной – 0,2–0,7 мм;
- резаная стружка, получаемая на специальных стружечных станках в производстве древесностружечных плит. Используется в производстве цементно-стружечных плит (ЦСП) на каустическом

магнезите, изделий из древесно-прессовочных масс и древесноклеевых композиций;

– стружка в виде отходов, получаемая в процессе механической обработки древесины на строгальных, фрезерных и других станках. Служит наполнителем для отдельных видов арболита и изделий из древесно-прессовочных масс;

– опилки, используемые для производства гипсоопилочных блоков, опилкобетона, ксилолита, изделий из древесно-прессовочных масс и других материалов;

– древесная крошка – частицы, полученные дроблением кускового шпона (отходов фанерного производства), применяемые для образования древесно-прессовочных масс;

– кора в виде частиц, измельченных до размеров 10–40 мм по длине, которая может быть использована для производства теплоизоляционного материала – королита.

Другим важным компонентом ДКМ является связующее вещество; наравне с ним используются пластифицирующие, отверждающие, модифицирующие и другие добавки. Комбинируя объемное содержание компонентов, применяя технологические режимы их совмещения, используя химические свойства компонентов, получают ДКМ с требуемыми эксплуатационными характеристиками.

В зависимости от природы связующего вещества ДКМ разделяют на три группы:

– материалы, изготавливаемые с применением неорганических вяжущих веществ. К этой группе связующих относятся клинкерный цемент, гипс, магнезиальные вяжущие вещества; их используют для производства таких материалов, как арболит, цементно-стружечные плиты, опилкобетон, фибролит и многие другие;

– материалы, получаемые с применением природных клеящих веществ. Клеящие вещества в этом случае образуются при воздействии на древесину воды с высокой температурой; продукты термогидролитического расщепления компонентов древесины, главным образом легкогидролизуемых углеводов и лигнина, выполняют роль связующих веществ при изготовлении древесноволокнистых плит мокрого способа производства и пьезотермопластиков;

– материалы, получаемые с использованием синтетических полимеров. С помощью синтетических полимеров производят разнообразные ДКМ: древесностружечные и древесноволокнистые плиты,

древеснослоистые и бумажнослоистые пластики, различные древесные пресс-массы.

ДКМ можно классифицировать по свойствам и областям применения. Они используются в качестве полноценных заменителей натуральной древесины, металлов, дорогостоящих пластмасс, кирпича, бетона и других традиционных материалов, применяемых в строительстве, производстве мебели, горнодобывающей, лесной, химической, автомобильной промышленности, машиностроении и многих других отраслях. Модифицированная древесина применяется в строительстве, производстве мебели, машиностроении. Древеснослоистый пластик используется в машиностроении, электротехнической, радиотехнической, горнодобывающей и легкой промышленности, изделия из древесных пресс-масс применяются в мебельной, тарной промышленности и машиностроении.

Область использования древесных композиционных материалов и изделий постоянно расширяется.

В зависимости от способа прессования композиционные материалы, полученные из них детали и изделия, подразделяются на плоскопрессованные, изостатического прессования и прессования в закрытых пресс-формах.

*Плоским прессованием* изготавливают древесностружечные и древесноволокнистые плиты, плиты на цементе и каустическом магnezите, паркелит, детали упаковочной тары, мебельные детали (элементы ящиков, столов, стульев) и др. Этот способ позволяет получать крупногабаритные материалы, детали и изделия плоских и сложных профилей; способ характеризуется высокой производительностью, простотой конструкторской оснастки, доступностью в производственных условиях.

*Изостатическое прессование* применяется при изготовлении коробчатых цельнопрессованных изделий (тарных и мебельных ящиков, корпусов для радио- и телевизионных приемников, деталей машиностроения и другой продукции). Этот способ позволяет в один прием получать готовые сложнопрофильные изделия, однако он требует сложных и громоздких пресс-форм, высоких давлений прессования и характеризуется сравнительно невысокой производительностью оборудования.

Способ прессования *в закрытых пресс-формах* используется при производстве деталей и изделий машиностроительной,

электротехнической и химической промышленности. Применяемая при этом способе пресс-масса получается на основе фенолоформальдегидных смол с высоким процентом их содержания, что обеспечивает хорошую текучесть пресс-массы и высокую прочность изделий. С целью повышения производительности прессового оборудования при этом способе используются многоместные или запирающиеся пресс-формы. Последние, как правило, нестационарные, и термическая обработка изделий в них производится вне пресса. Для равномерного заполнения полостей пресс-форм при изготовлении сложнопрофильных деталей и изделий необходимо высокое давление.

Способ прессования в закрытых пресс-формах применяется на ряде предприятий и получил широкое распространение.

В зависимости от плотности композиционные материалы и изделия можно условно разделить на две группы: легкие, имеющие плотность менее  $1200 \text{ кг/м}^3$ , и тяжелые со средней плотностью более  $1200 \text{ кг/м}^3$ . Легкие – это модифицированная древесина, ДВП, ДСП, гипостружечные и гипсоволокнистые плиты, фибролит, арболит, королит, гипсоопилочные блоки, тырсолит, изделия из древесно-клеевых композиций. Тяжелые – ЦСП, плиты на каустическом магnezите, пьезотермопластики, лигноуглеводные древесные пластики, строительный брус.

Гарантами для расширения производства и области применения композиционных материалов и изделий являются возобновляемость древесного сырья; необходимость все более полного использования отходов лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятий; растущий спрос на нетоксичные высококачественные и огнестойкие материалы для строительства; высокая экономическая эффективность производства при низкой трудоемкости.

Этому будет способствовать и расширение научных исследований в направлениях совершенствования технологий, создания нового оборудования и автоматизированных линий, расширения номенклатуры минеральных вяжущих, синтетических связующих и модифицирующих добавок, получения композиционных материалов и изделий с высокими улучшенными показателями качества и широкой областью применения.

**Древесные плиты. Цементно-стружечные плиты** (рис. С3.11) – новый строительный материал из качественной древесной стружки и цемента с добавкой ряда химикатов для ускорения твердения цемента.



Рис. С3.11. Цементно-стружечная плита

ЦСП используют в строительстве и в качестве стеновых панелей, плит перекрытий, элементов подвесных потолков, вентиляционных коробок, при устройстве полов, подоконных досок, облицовок, обшивок. За рубежом ЦСП выпускаются под названиями «дюрипанель», «фаманель», «элтен» и др. По сравнению с традиционными древесными материалами, применяемыми в строительстве, ЦСП имеют ряд преимуществ. Они негорючи, нетоксичны, био- и атмосферостойкие. К недостаткам ЦСП следует отнести большую плотность, невысокое сопротивление ударным нагрузкам, труднообрабатываемость.

В зависимости от уровня физико-механических показателей плиты, выпускаемые в Беларуси, подразделяются на две марки: ЦСП-1 и ЦСП-2. Плиты изготавливаются путем прессования отформованной технологической смеси, состоящей из стружки древесины хвойных пород, портландцемента, минеральных веществ и воды. Содержание отдельных составляющих смеси в процентах к общей массе составляет, %: портландцемент – 65, древесная стружка – 24, минеральные вещества – 2,5, вода – 8,5.

Из данных табл. С3.5 очевидно, что по большинству показателей физико-механических свойств плиты белорусского производства не уступают зарубежным.

Таблица С3.5

**Физико-механические показатели ЦСП**

Показатель	ЦСП-1	ЦСП-2
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1100–1400	
Влажность, %	9 ± 3	
Разбухание по толщине, % после 24 с вымачивания	Не более 2	
Прочность, МПа: на статический изгиб при толщине плит, мм:		
– 8–16	12	9
– 16–24	10	8
– 26–40	9	7
на растяжение перпендикулярно пласти, не менее	0,40	0,35
Модуль упругости при изгибе, МПа	3500	3000
Шероховатость пласти по ГОСТ 7016–2013, мкм, не более:		
– нешлифованных	320	320
– шлифованных	80	100

Физико-механические свойства ЦСП зависят от многих факторов (породы древесины, качества стружки, марки цемента, соотношения компонентов в смеси, технологических особенностей производства и т. д.).

Основным сырьем в производстве ЦСП являются лесоматериалы круглых хвойных (кроме лиственницы и кедра) и лиственных пород (береза, осина, липа) диаметром 6–24 см II и III сорта. Смесь хвойных и лиственных пород не допускается. Необходимость применения круглых лесоматериалов связана с тем, что только из них можно получить качественную резаную стружку определенных размеров, из которой можно изготовить ЦСП с более высокими показателями прочностных свойств. Вместе с тем для среднего слоя трехслойных ЦСП следует использовать древесные частицы из щепы, что заметно расширяет сырьевую базу с учетом применения отходов лесопиления и деревообработки и технологической щепы, получаемой на лесозаготовительных предприятиях.

Полученные древесные частицы должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. С3.6.

В производстве ЦСП в качестве вяжущего применяется в основном цемент марки 500. К нему предъявляются дополнительные требования: не допускается наличие пластификатора и повышенное содержание (более 5%) шлаковых добавок.



Таблица С3.6

**Характеристика древесных частиц**

Параметры	Слой, мм	
	наружный	внутренний
Толщина	0,2	0,4
Ширина	1	10
Длина	5	40

В качестве химических добавок для нейтрализации действия цементных ядов чаще всего используется композиция из жидкого стекла и серноокислого алюминия. Содержание тех или иных компонентов колеблется в зависимости от вида сырья, условий производства и качества получаемых плит. Соотношение компонентов, рекомендуемых для различных видов сырья, приведено в табл. С3.7.

При увлажнении показатели физико-механических свойств снижаются в связи с неодинаковым разбуханием цементного камня и древесины, приводящим к внутренним напряжениям и ослаблению контакта между ними. Плиты для повышения их водостойкости необходимо покрывать влагозащитными лакокрасочными материалами.

Таблица С3.7

**Рецептура ЦСП**

Расход компонентов, кг	Выдержанная Древесина пород		Невыдержанная древесина
	хвойных	листвен- ных	
Цемент	770	770	770
Древесина (абсолютно сухая)	280	280	280
Сульфат алюминия (абсолютно сухой)	11,6	11,6	22,1
Жидкое стекло (плотность 1,45 кг/м <sup>3</sup> )	26	30	52
Вода	43	43	43

**Древесностружечные плиты** – это листовой композиционный материал, изготовленный путем горячего прессования древесных частиц, преимущественно стружки, смешанных со связующим неминерального происхождения с введением при необходимости специальных добавок (рис. С3.12).



Рис. С3.12. Древесностружечная плита

Различают плиты *плоского* и *экструзионного прессования*:

В плитах плоского прессования древесные частицы расположены параллельно плоскости плиты. Такие плиты изготавливают путем приложения прессующего усилия перпендикулярно их плоскости, и они имеют одинаковую прочность во всех направлениях плоскости плиты.

В плитах экструзионного прессования древесные частицы расположены перпендикулярно плоскости плиты. Такие плиты изготавливают в специальных экструзионных прессах непрерывного действия путем приложения прессующего усилия параллельно их плоскости. Эти плиты имеют очень низкую прочность вдоль плоскости плиты и более высокую прочность поперек плиты. Однако облицовка таких плит даже одним слоем шпона значительно увеличивает их прочность.

В настоящее время в основном изготавливают плиты плоского прессования.

По конструкции различают однослойные, трехслойные, пятислойные и многослойные плиты.

*Однослойные плиты* имеют одинаковые размеры древесных частиц и одинаковое количество связующего по всей их толщине. В *трехслойных плитах* оба наружных слоя изготавливают из более тонких или мелких древесных частиц и с количеством связующего вещества большим, чем во внутреннем слое. *Пятислойная плита* состоит из одного внутреннего, двух одинаковых симметрично расположенных промежуточных и двух наружных слоев, отличающихся один от другого размерами древесных частиц и содержанием

связующего. При изготовлении в наружных слоях используют мелкие древесные частицы и пыль, в промежуточных слоях – стружку со средними размерами и во внутреннем – стружку с наибольшими допускаемыми размерами. В *многослойных плитах* размер древесных частиц постепенно возрастает от поверхности к середине плиты, а содержание связующего вещества соответственно уменьшается. Однако, в отличие от трехслойных плит, в которых ярко выражена граница между наружными и внутренними слоями, в многослойных плитах такой границы нет.

По плотности выделяют плиты малой плотности – менее  $550 \text{ кг/м}^3$ , плиты средней плотности –  $550\text{--}750 \text{ кг/м}^3$ ; плиты высокой плотности –  $750 \text{ кг/м}^3$  и более. В настоящее время большинство плит изготавливают плотностью  $650\text{--}750 \text{ кг/м}^3$ . Показатель плотности не является эксплуатационным и служит для определения расхода сырья и связующего, то есть характеризует материалоемкость продукции.

Древесностружечные плиты также подразделяются: по физико-химическим показателям – на марки П-А и П-Б (менее прочная); по качеству поверхности – на I и II сорта; по виду поверхности – с обычной и мелкоструктурной поверхностью; по степени обработки поверхности – на шлифованные и нешлифованные; по гидрофобным свойствам – с обычной и повышенной водостойкостью; по содержанию формальдегида – на классы эмиссии E0, E1, E2. Сортность плит определяется наличием и величиной дефектов, таких как углубления, выступы, царапины и пятна. Токсичность плит зависит от содержания формальдегида в миллиграммах на 100 г абсолютно сухой плиты и составляет для E0 до 6; E1 – 6–10; E2 – 10–30.

Габаритные размеры плит зависят от технических возможностей прессовых установок. При этом стандарты приводят рекомендуемые размеры выпускаемых плит: по длине – 1,83–5,50 м; ширине – 1,22–2,50 м; толщине – 10–28 мм с градацией через 1 мм.

Сырьем для производства древесностружечных плит служат круглые и колотые лесоматериалы для технологической переработки, отходы лесобработывающих производств и товарная щепка.

Технологическую щепу вырабатывают из неделовой древесины, кусковых отходов производств, в первую очередь лесопиления и фанерного производства. Для производства плит изготавливают щепу марки ПС, которая должна удовлетворять требованиям, представленным в табл. Л2.2 и Л2.3 (лабораторная работа № 2).

Стандарт не ограничивает применение пород древесины для изготовления щепы данной марки, допускается использование всех лиственных и хвойных пород. Однако породы древесины оказывают большое влияние на физико-механические свойства древесностружечных плит. Прочность их тем выше, чем меньше плотность исходной древесины. При одинаковом количестве связующего плиты из хвойных и мягколиственных пород примерно на 20% прочнее плиты из более плотных пород. Высокие прочностные показатели плит из древесины низкой плотности объясняются тем, что при одной и той же исходной массе осмоленная стружка из менее плотной древесины занимает больший объем. При прессовании получается более тесная связь между частицами из-за их большого количества в единице объема плит и более развитой суммарной поверхности контакта. Поставки щепы марки ПС допускаются из смеси различных пород, но их количественный состав согласовывается с потребителем.

**Ориентированно-стружечные плиты (плиты OSB)** – плиты из длинных узких ориентированных древесных стружек (рис. С3.13). Их изготавливают из стружек определенной формы и толщины, спрессованных при высоких давлении и температуре на конвейерном прессе с использованием водостойких смол (СТБ EN 300-2009 и ГОСТ 32567–2013).

Стружка имеет длину от 50 до 150 мм, толщину обычно до 2 мм, ширину до 50 мм и укладывается в ковре тремя слоями. При этом внешние слои образуются стружкой, ориентированной параллельно длине плиты, а внутренние – перпендикулярно (рис. С3.14). Благодаря такой ориентации составляющих получается материал с анизотропными свойствами, повышенных прочности и упругости при сохранении гибкости, свойственной древесным материалам. В то же время плиты OSB лишены известных древесине недостатков – поражению грибком, подверженности гниению и горению.



Рис. С3.13. Плита OSB

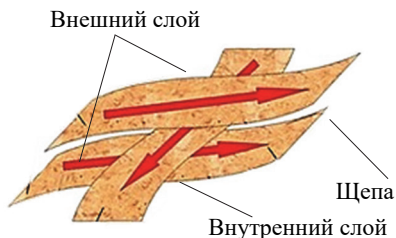


Рис. С3.14. Направление стружки в OSB

Толщина плит OSB – от 6 до 40 мм, длина – от 1200 мм и более, плотность – 660–680 кг/м<sup>3</sup>, влажность – 2–12%. В зависимости от толщины плит и направления приложения нагрузки прочность на изгиб таких плит составляет от 7 до 30 МПа, модуль упругости – 1200–4800 МПа.

В зависимости от физико-механических показателей и условий применения плиты подразделяются на четыре типа:

- OSB/1 – общего назначения, не несущие нагрузку и предназначенные для применения внутри помещений в сухих условиях;
- OSB/2 – несущие нагрузку и предназначенные для использования в сухих условиях;
- OSB/3 – несущие нагрузку и предназначенные для использования во влажных условиях;
- OSB/4 – несущие повышенную нагрузку и предназначенные для использования во влажных условиях.

Плиты OSB применяются при строительстве жилых и общественных зданий, для производства мебели и других конструкций.

**Древесноволокнистые плиты** получают путем горячего прессования древесно-целлюлозных волокон, воды, наполнителей и при необходимости синтетических полимеров и специальных добавок (рис. С3.15).



Рис. С3.15. Древесноволокнистые плиты

Волокна получают расщеплением древесного сырья (щепы и дробленки древесины хвойных и лиственных пород). После гидро-термической и химической обработки щепа расслаивается на специальных машинах на отдельные волокна, которые затем в смеси с водой и добавками образуют древесно-целлюлозную массу для формирования плит.

В процессе формирования плит взвешенные в воде волокна «свойлачиваются», тесно переплетаясь между собой, при обезвоживании оседают и отсоединяются влаги окончательно уплотняются. Затем полученное полотно вначале спрессовывается между сетками и уплотняется прес-сующими валиками.

При сушке плит внутри волокнистой массы возникают дополнительные связи между волокнами, повышающие их прочность. Связка древесно-целлюлозной массы обеспечивается сцеплением волокон и их естественными склеивающими свойствами или добавлением к волокнам синтетических склеивающих составов (СТБ EN 316-2009 и СТБ EN 622-3-2009, ГОСТ 4598–2018, ГОСТ 8904–2014 и ГОСТ 27935–88).

В зависимости от способа производства различают плиты влажного (с содержанием влаги на стадии формирования более 20%) и сухого (менее 20% влаги) формирования. Плиты сухого формирования чаще всего маркируются как плиты MDF (СТБ EN 622-5-2009).

По плотности плиты ДВП подразделяются:

- на мягкие (ДВП-М) – плотностью 100–400 кг/м<sup>3</sup>;
- полутвердые (ДВП-ПТ) – 400–800 кг/м<sup>3</sup>;
- твердые (ДВП-Т) – более 800 кг/м<sup>3</sup>;
- сверхтвердые (ДВП-СТ) – более 900 кг/м<sup>3</sup>.

В табл. С3.8 представлены показатели физико-механических свойств ДВП по ГОСТ 4598–2018.

1. По СТБ EN 316–2009 плиты влажного формирования подразделяются:

- на твердые (НВ) – плотностью от 900 кг/м<sup>3</sup>;
- полутвердые (МВ): высокой плотности (МВН) – 560–900 кг/м<sup>3</sup> и низкой плотности (МВЛ) – 400–560 кг/м<sup>3</sup>;
- мягкие (СВ) – плотностью 230–400 кг/м<sup>3</sup>.

2. Плита MDF по СТБ EN 13986-2013 определяется как древесноволокнистая, изготовленная сухим способом из волокон лигно-целлюлозы влажностью менее 20% с добавлением вяжущего и под воздействием высокой температуры и давления.

Таблица С3.8

**Физико-механические свойства ДВП**

Показатель	Марки плит					
	СТ	Т	ПТ	М1	М2	М3
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Более 900	Более 800	400–800	300–400	200–300	100–200
Прочность при изгибе, МПа, не менее	47	28	33	1,8	1,1	0,4
Разбухание за 24 ч, %, не более	13	20	23	Не нормируется		
Влажность, %	3–7	5–10	5–10	12		

Плиты MDF в зависимости от назначения и условий применения подразделяются на технические классы – MDF.LA, MDF.H, MDF.HLS, L-MDF, L-MDF.H, ULMDF, MDF.RWH. Они плотнее, прочнее и эстетически качественнее древесностружечных и древесноволокнистых плит. Предел прочности при изгибе составляет 15–23 МПа, модуль упругости при изгибе – 1700–2700 МПа, прочность при разрыве – 0,5–0,7 МПа. В зависимости от технологических особенностей производства выпускаются цельнопрессованными, ламинированными и окрашенными. По способу оформления лицевой поверхности различают шпонированные, глянцевые и окрашенные. Разновидностями плит MDF являются плиты HDF – высокой плотности (выше 800 кг/м<sup>3</sup>), LDF – легкие (ниже 600 кг/м<sup>3</sup>) и др.

Древесноволокнистые плиты, в том числе MDF, в зависимости от плотности и условий эксплуатации (сухие, влажные, наружные) применяются как конструктивно-отделочный материал для облицовки стен, потолков, внутренних перегородок, покрытия пола, изготовления подоконников, плоских и гнutoклевых изделий, для производства мебели, столярных и других изделий. На основе полутвердых древесноволокнистых (моноструктурных) плит плотностью 650–950 кг/м<sup>3</sup> выпускают декоративные панели с профилированными боковыми кромками и облицованными с одной стороны декоративной бумагой (ГОСТ 32297–2021). Такие панели предназначаются для отделки интерьеров общественных и жилых зданий, защищенных от воздействия повышенной влажности. Мягкие плиты служат тепло- и звукоизоляционным материалом.

Сравнительные характеристики всех древесных плит представлены в виде табл. С3.9.

Таблица С3.9

### Характеристика древесных плит

Достоинства	Недостатки	Область применения
<b>Фанера</b>		
Прочность, износостойкость, простота использования и монтажа, небольшой вес, формоустойчивость и гибкость, низкая теплопроводность, дешевизна	Недостаточная устойчивость к неблагоприятным условиям, уязвимость перед влагой, которая может проникать вглубь материала и разрушать его, наличие в составе фанеры умеренно токсичных материалов	Кровельные работы, оформление интерьеров, отделка экстерьеров, укладка полов, изготовление опалубки и т. д.
<b>ДСтП</b>		
Высокая прочность, превосходящая дерево, водостойкость, простота в обработке, низкая стоимость	Наличие в составе материала токсичных веществ, некоторая хрупкость, не позволяющая проводить тонкую обработку деталей, плохое удержание шурупов	Кровельные работы, обшивка стен, подложка под напольные покрытия, укладка полов, отделка интерьеров, изготовление опалубки и т. д.
<b>OSB</b>		
Высокая прочность, устойчивость к различным повреждениям, простота монтажа и обработки, долговечность, хорошая тепло- и звукоизоляция, низкая стоимость.	Наличие токсичных веществ, горючесть плит. При недостаточной герметизации «тянут» воду, что разрушает материал и деформирует конструкцию	Кровельные работы, производство сэндвич-панелей, обшивка стен, потолков, полов. Обустройство перекрытий и лестниц. Проведение вспомогательных работ, возведение заборов, уличных конструкций, вспомогательных строений
<b>ЦСП</b>		
Прочность, экологичность, хорошие звукоизоляционные характеристики, простота в обработке, биостойкость, долговечность	Высокая плотность и большой вес, что затрудняет монтаж. Невысокая прочность на изгиб	Утепление зданий, внешняя и внутренняя отделка, изготовление влагостойких перегородок, каркасных конструкций, производство сэндвич-панелей и т. д.



**Технологический процесс производства плит** включает следующие основные операции: подготовку древесного сырья (сортировку по породам, разделку круглых лесоматериалов на мерные отрезки, изготовление или прием привозной щепы), получение специальной стружки, ее сушку, приготовление стружечно-клеевой смеси, формирование стружечного ковра, прессование плит, кондиционирование, форматную обрезку, шлифование и складирование (рис. СЗ.16).

Плиты изготавливают из специальной стружки, которая в зависимости от вида сырья получается на различном оборудовании. Круглые лесоматериалы перерабатываются в стружку на стружечных станках с ножевым валом. Из технологической щепы стружку получают с применением центробежных стружечных станков.

Стружка, предназначенная для изготовления плит, должна быть высушена. Сырье, перерабатываемое в стружку, как правило, имеет высокую влажность – от 60 до 120% в зависимости от вида, способов доставки, длительности и условий хранения на складе. Влажность же стружки для наружных и промежуточных слоев перед смешиванием со связующим должна составлять 3–6%, для внутреннего слоя – 2–4%.

В последнее время на многих предприятиях стружку высушивают до влажности 1–3% независимо от ее назначения. Существует большое число типов сушильных аппаратов, применяемых для сушки измельченной древесины. Наиболее широко применяют конвективные сушилки с механическим или пневматическим перемещением древесных частиц от загрузочного конца к выгрузочному. В этих сушилках стружку высушивают во взвешенном состоянии в потоке газозвдушной смеси.

Непрерывное омывание частиц газозвдушной смесью высокой температуры обеспечивает интенсивный теплообмен между сушильным агрегатом и высушиваемым материалом, а следовательно, и высокую производительность.

Процесс смешивания стружки со связующим происходит в смесителях. В качестве связующего для производства древесностружечных плит используют клеевые композиции на основе карбамидоформальдегидных, фенолоформальдегидных смол в смеси с отвердителями, водой, всевозможными добавками для улучшения технологических свойств связующего, снижения токсичности готовых древесностружечных плит, придания им специальных свойств.

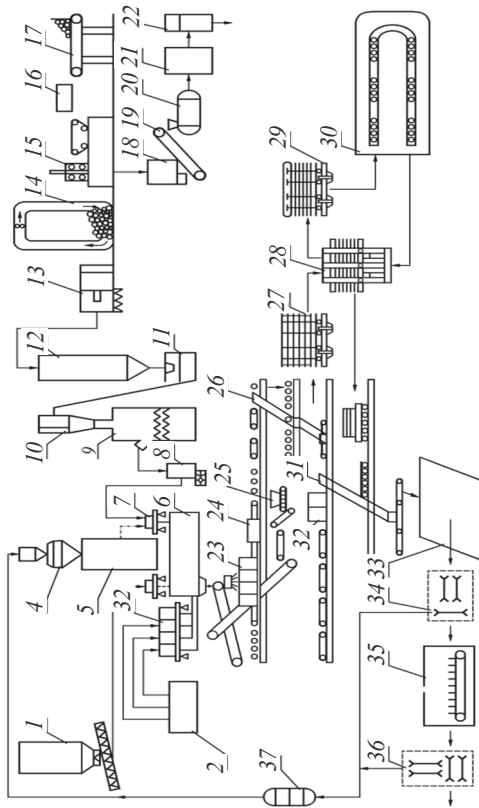


Рис. С3.16. Схема производства ЦСП:

1 – бункер для цемента; 2 – склад для химических добавок; 3 – емкости для растворов химических добавок; 4 – грохот; 5 – бункер для отходов обрезки ЦСП; 6 – смеситель; 7 – весы; 8 – мельница для мелкого помола; 9 – воздушный сепаратор; 10 – циклон; 11 – станок для измельчения стружки; 12 – бункер стружки; 13 – стружечный станок; 14 – склад хранения древесины; 15 – окорочный станок; 16 – металлоискатель; 17 – конвейер подачи древесины; 18 – мельница для измельчения коры; 19 – конвейер; 20 – барабанная сушилка; 21 – пресс для брикетирования коры; 22 – приемное устройство для брикетов коры; 23 – формирующая машина; 24 – резка ковра; 25 – конвейеры для некондиционных пакетов; 26 – штабелеукладчик; 27 – силовая тележка; 28 – пресс; 29 – штабель, сжатый в силовой тележке; 30 – камера термообработки; 31 – устройство для разборки пакетов; 32 – пост очистки и смазки поддонов; 33 – площадка выдержки плит; 34 – круглопильный станок; 35 – сушилка; 36 – станок для раскройки плит по формату; 37 – дробилка для отходов плит

В дальнейшем стружка из смесителей передается системой ленточных транспортеров и распределительных устройств в формирующие машины, которые насыпают трехслойный стружечный ковер на поддоны, перемещаемые главным конвейером. Сформированный определенных размеров ковер подвергают холодной подпрессовке, взвешивают, увлажняют, а затем передают на горячее прессование.

Основная цель горячего прессования плит заключается в уплотнении стружечного брикета до заданной (требуемой) толщины плиты и стабилизации этой толщины за счет склеивания между собой древесных частиц. Быстрое отверждение связующего внутри стружечного брикета достигается за счет нагрева клеевых слоев, расположенных на поверхности древесных частиц.

Таким образом, для нагрева клеевых слоев требуется прогреть стружечный брикет по всей его толщине, чтобы в среднем его слое температура достигала значения не ниже  $100^{\circ}\text{C}$ , при которой происходит быстрое отверждение связующего. Кроме того, такая температура обеспечивает испарение и выход избыточной влаги (более 8%) из стружечного брикета (плиты) за время прессования, которое обычно составляет 0,25–0,45 мин/мм толщины готовых плит.

### 3.4. Производство строительных материалов

**Строительные материалы с древесным наполнителем.** Главными представителями группы материалов на древесных наполнителях и минеральных вяжущих являются арболит, фибролит, ксилолит.

*Арболит* относится к группе легких бетонов и предназначен для изготовления теплоизоляционных и конструкционных материалов и изделий, применяемых в зданиях различного назначения с относительной влажностью воздуха помещений не более 60% и при отсутствии агрессивных газов (рис. С3.17).



Рис. С3.17. Арболит

За рубежом аналогичными материалами являются велокс, дюризол, пилинобетон, вундстоун. Конструкции из дюризолола нашли широкое применение в Бельгии, Швейцарии, Японии, Канаде, Франции, Индии, США, Дании, Голландии, из инлинобетона – в Чехии и других странах. Конструкции из легких бетонов на органических заполнителях очень разнообразны, из них изготавливают мелкие стеновые камни, теплоизоляционные шипы, кровельные панели, полы, а также крупные стеновые панели и блоки. Строительные дома и конструкции из арболита используются не только для наружных стен, но и для внутренних межквартирных и межкомнатных стен и перегородок.

Изделия из арболита, имеющие сравнительно невысокую среднюю плотность – 400–850 кг/м<sup>3</sup>, обладают отличными строительными, физико-химическими свойствами. Они легко поддаются сверлению, обработке режущим инструментом и оштукатуриванию. В них можно забивать гвозди и ввинчивать шурупы. Они трудноразрушаемы, не разрушаются в воде, морозо- и биостойки, не гигроскопичны, мало теплозвукпроводны и долговечны. Благодаря этим свойствам арболит широко применим в строительстве. Из него получают стеновые панели и блоки, плиты покрытия для совмещенных кровель и плиты покрытия, усиленные железобетонными брусками, перегородочные плиты для культурно-бытовых и торговых зданий, объемно-пространственные конструкции. Используется он и для монолитного строительства.

В качестве древесного заполнителя применяются древесные частицы измельченной древесины в виде щепы, дробленки, шерсти, опилок, древесной крошки, пыли и муки, измельченной коры или отходов окорки.

Сырьем для древесного заполнителя могут быть: круглый сортимент, соответствующий по размерам, качеству и форме пиловочному сырью; кусковые отходы – горбыли, рейки, короткомерные отрезки лесопильного производства; отрезки деревообрабатывающих, мебельных, столярно-строительных и других производств; шпон-рванина, карандаши, отструг фанерных производств; стружка, древесная шерсть, древесная крошка деревообрабатывающих, мебельных столярно-строительных производств; опилки, древесная пыль всех видов производств, где применяют пиление и шлифование древесины; кора – в лесопильном производстве.

Предпочтение отдается отходам деревообработки, так как они имеют требуемую (эксплуатационную) или транспортную влажность.

Арболит разделяется на марки 5, 10, 15 (для теплоизоляционных целей) и 25, 35, 50 (для конструкционно-теплоизоляционных целей). Марка соответствует пределу прочности при сжатии ( $\text{кг}/\text{см}^3$ ) контрольных образцов, затвердевших при температуре 18–25°C и относительной влажности воздуха 60–80% через 28 сут после формования. Основные свойства арболита – плотность, прочность при сжатии в зависимости от вида заполнителя – представлены в табл. С3.10.

Таблица С3.10

#### Основные свойства арболита

Вид арболита	Класс прочности на сжатие	Марка по прочности при осевом сжатии	Средняя плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$
Теплоизоляционный	B0,35	M5	400–500
	B0,75	M10	400–500
	B1,0	M15	500
Конструкционный	B1,5	–	500–650
	B2,0	M25	500–700
	B2,5	M35	600–750
	B3,5	M50	700–850

Арболит имеет высокую прочность на растяжение, повышенную трещиностойкость, достаточную сопротивляемость ударным нагрузкам, что обеспечивает его хорошую транспортабельность.

Модуль упругости арболита составляет от 400 до 1200 МПа, величина сцепления с металлической арматурой – 0,1–3,5 МПа, коэффициент Пуассона – 0,15–0,20, коэффициент теплопроводности при  $W = 0\%$  – 0,08–0,17 Вт/(м·град) в зависимости от плотности. Коэффициент паропроницаемости при  $t = 20^\circ\text{C}$  для плотности 700  $\text{кг}/\text{м}^3$  равен  $0,083 \cdot 10^{-9}$  –  $0,098 \cdot 10^{-9}$  (м. ч. мм рт. ст.). Арболит имеет большую усадку. При высыхании до влажности 10–12% усадка составляет в среднем до 5 мм на 1 м изделия.

Одним из недостатков арболита является повышенное водопоглощение (60%); набухание в воде составляет 0,25–2,00%, поэтому

во влажных средах необходима гидроизоляция изделия. Поверхность арболита для его защиты покрывается цементно-песчаным раствором и другими материалами.

Одним из преимуществ арболита является его высокая удельная теплоемкость (в сухом состоянии она составляет 2,3 кДж/(кг·град)). По степени биостойкости арболит относится к 5-му классу, в то время как древесностружечные и древесноволокнистые плиты – к 7–8-му классам.

Как конструкционный и теплоизоляционный материал арболит широко применяется в качестве стеновых блоков и панелей, плит покрытий и перекрытий, а также для других сборных и монолитных конструкций зданий различного назначения с относительной влажностью воздуха помещений до 75%.

Изделия из арболита подразделяются по назначению – теплоизоляционные и конструктивно-изоляционные; армированию – армированные и неармированные; отделке поверхностей – офактуренные и неофактуренные; количеству слоев – однослойные и многослойные. В качестве сырья при производстве арболита используются вяжущие, органические заполнители и химические добавки. Вяжущие материалы – портландцемент, портландцемент с минеральными добавками, сульфатостойкий цемент (марки не ниже 300 для теплоизоляционного и 400 для конструкционного арболита).

В качестве органических заполнителей применяют измельченную древесину из отходов лесозаготовок, лесопиления и деревообработки хвойных (ель, сосна, пихта) и лиственных (береза, осина, бук, тополь) пород.

Для улучшения свойств арболитовой смеси используют химические добавки, ускоряющие твердение (минерализаторы), регулирующие пористость арболитовой смеси и арболита, повышающие защитные свойства арболита (ингибиторы коррозии стали), придающие бактерицидные и инсектицидные свойства и др. Наиболее широкое распространение в производстве арболита получили такие добавки, как хлорид и нитрат кальция, сернокислый глинозем, стекло натриевого жидкое и др.

*Технология арболита.* Технологический процесс изготовления арболита предусматривает следующие операции: приемку и хранение древесных отходов; измельчение древесных отходов; дозировку составляющих и приготовление арболитовой смеси; формование изделий; твердение изделий из арболита и их сушку;

отделку поверхности изделий; транспортировку на склад и хранение до погрузки потребителю. Ниже приведены основные операции процесса.

*Подготовка древесины.* В целях исключения вредного влияния цементных ядов наиболее простым и доступным способом является выдержка древесного сырья не менее 2 месяцев при положительной температуре, предпочтительно в виде щепы. Древесину березы, осины, лиственницы и других пород (кроме ели, пихты, сосны весенне-летней и осенне-зимней заготовки) хранят в отдельных штабелях. Щепу выдерживают в кучах, небольших (высотой 4–5 м) и неплотных, 4 месяца летом и 6 месяцев зимой. При этом необходимо закладывать вентиляционные трубы через 3–4 м по длине и ширине кучи.

Из отходов лесозаготовок следует удалить зелень, минеральные примеси (в летнее время), из дровяной древесины – гниль. Щепка должна содержать не более 20% коры, 5% хвойной лапки и листьев, 2% гнили и 4% минеральных примесей.

Древесное сырье, поступающее в виде технологических дров, отходов лесопиления, фанерного производства и деревообработки, измельчается первоначально на соответствующих рубительных машинах (МРГ, МРН и др.) в технологическую щепу, которую можно применять без повторного измельчения (при наличии мощной виброукладочной техники) и специальных составов смеси, улучшающих ее укладываемость.

Измельчение щепы в дробленку дает ряд преимуществ:

- увеличивается суммарная поверхность древесных частиц, создающая лучшее сцепление их между собой с помощью цементного клея;
- благодаря незначительному изменению линейных размеров в направлении поперек волокон при высыхании арболитовых изделий меньше нарушается структура арболита;
- ускоряется процесс замачивания древесного заполнителя;
- облегчается укладка арболитовой смеси в форму и обеспечивается лучшее взаиморасположение древесных частиц.

Перед измельчением щепу подвергают электромагнитной сепарации для извлечения металлических включений. Для измельчения щепы используются молотковые дробилки ДМ-1, дробилки с вращающейся крестовиной ДМ-3, стружечные станки типа

ДС-7. Отделение мелочи производят на механических сортировках (виброгрохотах) или в циклонах-сепараторах. Размеры частиц, полученных на дробилках, не должны превышать по длине 40 мм, по ширине 10 мм, а по толщине 5 мм; частицы, полученные на стружечных станках, должны быть толщиной и шириной 0,1–1,0 мм, длиной – 2–20 мм.

Чтобы древесный наполнитель во время твердения арболита не отнимал влагу у цементного раствора и не ухудшал условий гидратации цемента для снижения разбухания древесных частиц при кристаллизации цементного геля, а также для обеспечения соответствующего водоцементного соотношения, древесный наполнитель перед смешиванием с цементным раствором увлажняют.

Установлено, что дробленка, замоченная в воде, через 15 мин достигает абсолютной влажности, равной 135%, которая обеспечивает приготовление арболитовой массы нормальной консистенции. Однако излишняя влага вредна, так как в процессе затвердевания арболитовой смеси испарившаяся вода создает значительную пористость в цементном камне.

Для обычного арболита древесную дробленку рекомендуется замачивать в воде летом при нормальной температуре, а зимой в воде, нагретой до 50°C. Замачивание древесного наполнителя может быть совмещено с его минерализацией, при которой минерализатор в виде водного раствора вводят в воду, предназначенную для замачивания наполнителя. Кратковременная обработка наполнителя горячей водой или слабым раствором щелочи позволяет снизить содержание минерализатора в формовочной массе без ухудшения конечной прочности арболита.

Наиболее распространенная схема приготовления древесного наполнителя в виде щепы представлена на рис. С3.18.

Древесное сырье подается конвейером в рубительную машину, из нее – на сортировку щепы. Древесные частицы длиной более 50 мм отделяются и направляются на доизмельчение в рубительную машину. Сортированная щепа пневмотранспортом подается в бункер-накопитель. Винтовым конвейером через поворотный патрубкок щепа транспортируется в устройство для замачивания, где перемешивается с водой и в виде пульпы направляется в сетчатый скиповый подъемник.



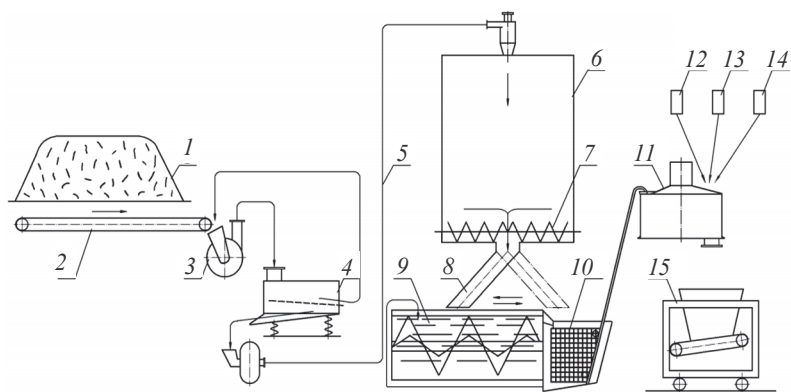


Рис. С3.18. Схема приготовления древесного заполнителя:

- 1 – кусковые древесные отходы; 2 – ленточный конвейер;  
 3 – рубильная машина; 4 – сортировка щепы;  
 5 – пневмотранспортная система; 6 – бункер для щепы;  
 7 – винтовой конвейер; 8 – поворотный патрубок;  
 9 – устройство для замачивания щепы; 10 – скиповый ковш; 11 – смеситель;  
 12 – химические добавки; 13 – цемент; 14 – вода; 15 – арболитоукладчик

*Приготовление арболитовой смеси.* Замоченная щепа поступает во вращающийся смеситель, куда последовательно подаются водные растворы химических добавок, цемент и вода. Цикл перемешивания длится 6–8 мин. Если замачивание заполнителя не требуется, его направляют в скиповый подъемник, минуя устройство для замачивания.

В качестве смесителей используются противоточные бетоносмесители, у которых смесительная чаша и лопасти вращаются в противоположных направлениях, и бетоносмесители турбинные с вращающимися лопастями и неподвижной чашей.

Приготовленная смесь считается качественной, если частицы заполнителя полностью покрыты цементным тестом и цементное «молоко» не стекает при формировании изделий. Готовую смесь выгружают в арболитоукладчик. При транспортировке к месту формирования перегружать смесь не следует, чтобы избежать ее расслоения. От момента приготовления смеси до укладки ее в форму должно проходить не более 30 мин.

При изготовлении крупногабаритных изделий – навесных, самонесущих и несущих элементов наружных и внутренних стен про-

изводят армирование. Используются для армирования горячекатаная арматурная сталь класса А-И и проволока класса В-И. Предварительно арматуру обмазывают цементным раствором.

*Формование изделий.* В процессе формования достигаются требуемые плотность и однородность арболита в изделии, обеспечиваются форма и геометрические размеры изделий, качество лицевых поверхностей и товарный вид. Для создания равнопрочной и равноплотной структуры необходимо весовое дозирование смеси в формы и равномерное распределение по площади формы и толщине изделия.

В настоящее время применяются следующие способы формования: прессование в горизонтальных и вертикальных формах, трамбование, послынная укатка роликами, вибрация с пригрузом, силовой вибропрокат.

*Твердение изделий из арболита и их сушка.* После формирования изделие вместе с формой транспортируется краном к месту твердения. Схватывание и твердение цементного вещества в арболитовой смеси, как и бетонной, происходит с выделением тепла. Интенсивность и количество выделяемого тепла зависят от качества древесной дробленки, марки и состава цемента, начальной температуры арболитовой смеси, правильности применения химических добавок и температуры окружающей среды.

В специальных камерах при температуре 25–35°C и относительной влажности воздуха 60–80% достижение распалубочной прочности обеспечивается за 24 ч. После распалубки изделия хранятся в летнее время в теплом помещении или на складе 5–7 сут для набора марочной прочности.

*Отделка поверхности изделий.* Конструкции из арболита необходимо покрывать защитно-отделочными покрытиями для предохранения от увлажнения. В качестве защитно-отделочных покрытий применяют цементно-песчаные растворы, бетоны, плитные облицовки и лакокрасочные покрытия. С целью защиты от увлажнения конструкции из арболита покрывают также цементно-перхлорвиниловыми красками, осуществляют латексно-кремнийорганическую или известково-кремнийорганическую отделку и другие, однако эти виды отделки дефицитны и довольно дороги. Московским государственным университетом леса предложена

эффективная отделка изделий из арболита бетонными слоями с одновременным устройством декоративного покрытия из керамических плиток различных расцветок и размеров. Такой вид отделки упрочняет изделие и увеличивает срок его эксплуатации.

**Фибролит** изготавливают путем прессования смеси из специальной стружки (древесной шерсти), минеральных вяжущих и химических добавок. Фибролит выпускают в виде плит толщиной 30, 50, 75, 100 и 150 мм, шириной 500–1200 мм, длиной 2400–3000 мм (рис. С3.19).



Рис. С3.19. Фибролит

По средней плотности, которая зависит от степени уплотнения при прессовании, плиты делят на марки 300, 350, 400 и 500. Этот материал обладает хорошими теплоизоляционными и акустическими свойствами, жесткостью, огне- и биостойкостью при невысокой стоимости (табл. С3.11).

Таблица С3.11

**Показатель физико-механических свойств фибролита**

Марка	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при изгибе, МПа	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К), не более
300	300	0,4	0,085
350	350	0,5	0,095
400	400	0,7	0,105
500	500	1,2	0,130

Конструкционный фибролит средней плотностью 400 и 500 кг/м<sup>3</sup> используется для устройства перегородок, а также в качестве заполнителя деревянного каркаса стен; изоляционный со средней

плотностью 300–340 кг/м<sup>3</sup> – для утепления стен, покрытий и чердачных перекрытий. Фибролит не следует применять в частях зданий, находящихся в условиях повышенной влажности. При использовании в качестве стенового материала его покрывают штукатуркой.

По роду применяемого вяжущего различают фибролит на портландцементе, магнезиальном вяжущем и белитошлаковом цементе.

Производство фибролитовых плит осуществляется по мокрому и сухому способам. При мокром способе древесная стружка выдерживается в ванне с водным раствором цемента и минерализатора в течение 3–4 мин и далее подается на виброгрохот для удаления лишнего раствора. Недостатки мокрого способа: во избежание осаждения цемента необходимость в постоянном перемешивании цементного раствора; частое отверждение цементного раствора в ванне (образование «козлов»); введение большого количества воды, что отрицательно сказывается на прочности плит.

**Ксилолит** изготавливают из смеси магнезиального вяжущего с опилками хвойных пород, затворенной раствором хлорида магния. Для увеличения прочности ксилолита на истирание в смесь добавляют в небольшом количестве тонкодисперсные минеральные вещества (тальк, асбест, мраморную муку), для необходимой окраски – щелочестойкие пигменты. Тальк повышает водостойкость.

Применяют ксилолит для устройства полов в зданиях различного назначения, в которых нет постоянного увлажнения и воздействия агрессивных сред. Полы из ксилолита обладают низкой теплопроводностью и высокой стойкостью к истиранию. При массовом соотношении опилок и каустического магнезита 1 : 3 предел прочности при сжатии через 28 сут достигает 40–60 МПа, а при этом же соотношении с доломитом – 10–30 МПа.

Для получения ксилолита используются опилки от лесопиления, высушенные до влажности 15%, прошедшие через сито с ячейками 25×25 мм и оставшиеся на сите с ячейками 5×5 мм.

Вяжущее приготавливают в отдельном смесителе, куда подают магнезит и красящие пигменты, затем добавляют затворитель. После перемешивания вяжущее сливают в другой смеситель, в котором находится отмеренное на замес количество опилок. Ксилолитовая смесь перемешивается в течение 4–5 мин до получения однородной

массы, которая может использоваться для изготовления монолитных полов или плит.

Монолитный ксилолит укладывают в два слоя. Нижний слой толщиной 10–12 мм – пористый, а верхний слой толщиной 8–10 мм – более плотный. В смесь, применяемую для верхнего слоя, добавляют мелкозернистый песок.

При изготовлении ксилолитовых плит смесь подается шнеком в бункер формовочной машины и далее в специальные пресс-формы. Уплотняется смесь в гидравлическом прессе при удельном давлении прессования 2,5–10,0 МПа. Затем формы на вагонетках поступают в камеры твердения, их выдерживают там при температуре 90–95°C в течение 21 ч, после чего охлаждают до 25–35°C и подвергают распалубке.

Далее плиты укладывают в штабеля и выдерживают на протяжении 14 сут. После выдержки плиты при необходимости повышения водостойкости пропитывают гидрофобным составом.

При устройстве полов плиты укладывают на жесткое основание (деревянное или бетонное) на холодную битумную или магнезиальную мастику.

**Опилкобетон.** Представляет собой легкий бетон на основе опилок, песка и минерального вяжущего. Используются преимущественно опилки хвойных пород. В качестве вяжущего могут служить портландцемент и известь; в качестве минеральных заполнителей – песок, гравий; в качестве минеральных добавок – глина, зола, трепел. Опилкобетон применяется как термоизоляционный материал под названием «термиз» и в качестве стенового.

Технология производства изделий из опилкобетона такова. Опилки от лесопиления и деревообработки, выдержанные до влажности 12–15%, засыпают в смеситель периодического действия. Туда же подаются вода с растворенным в ней хлоридом кальция, вяжущее и, при необходимости, песок или добавки извести, и вся смесь перемешивается. Далее смесь формуется. Расформовка изделия происходит через 1 ч. После выдержки изделия поступают на склад.

**Гипсостружечные плиты.** В качестве исходных материалов для получения гипсостружечных плит (ГСП) служат гипс, древесина и вода, а также замедлители схватывания гипса. ГСП могут использоваться в качестве строительных элементов для выполнения легких стен, а также в роли сухой штукатурки при внутренней

отделке здания. Благодаря применению гипса в качестве вяжущего плиты огнестойки, сравнительно мало разбухают во влажных условиях, имеют хорошие звукоизоляционные свойства. Древесная стружка придает им прочностные свойства, легкость обработки путем сверления, пиления, забивания гвоздей и другой механической обработки. Их поверхность можно окрашивать, оклеивать обоями, облицовывать различными синтетическими пленками и фанеровать. Физико-механические свойства ГСП представлены в табл. С3.12.

Таблица С3.12

#### Физико-механические свойства гипсостружечных плит

Показатель	Значение
Толщина, мм	14–20
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1100–1200
Предел прочности при изгибе, МПа	6,0–9,5
Модуль упругости, МПа·10 <sup>3</sup>	3–5
Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты, МПа	0,25–0,04
Разбухание при выдержке в воде в течение 2 ч, %	2,5–2,6
Линейное расширение при изменении влажности с 10 до 85% и температуре 20°С, %	0,05–0,06

ГСП классифицируют как строительные класса В, огнестойкие. Поверхность их соответствует классу 1/1, то есть невоспламеняемые и нераспространяющие огонь. ГСП служат материалом для изготовления трудновоспламеняемой мебели.

Из ГСП можно конструировать также звукоизоляционные перегородки, звукопоглощающие свойства которых находятся в пределах 30–65 дБ. Незначительное разбухание плит дает возможность изготавливать из них бесшовную поверхность. Без особой подготовки поверхности ГСП являются хорошим основанием под керамическую плитку, обои и краску.

Основной недостаток гипсостружечных плит – это возможность использовать их только во внутренних помещениях.

Фирма «Бизон» разработала полусухой способ изготовления гипсостружечных плит. Гипс как вяжущее отличается от цемента меньшим сроком твердения, а при полусухом способе – меньшим

количеством воды, требуемым для затворения. Схватывание гипса основано на повторном присоединении кристаллизационной воды (гидратации), способствующей повторному превращению полуводного гипса в двухводный. Отношение добавляемой воды к безводному гипсу по массе определяется как водогипсовое. Этот показатель влияет на прочность.

На практике при изготовлении ГСП полусухим способом водогипсовое отношение составляет 0,35. При этом гипсостружечная масса имеет сыпучую консистенцию, позволяющую применять для формирования ковра традиционные настольные машины.

**Гипсоволокнистые плиты.** В качестве исходных материалов для получения гипсоволокнистых плит (ГВП) служат гипс, волокно, полученное из древесного сырья или макулатуры, и вода. В последние годы можно отметить увеличение спроса на ГВП как строительного элемента для внутренней отделки зданий. По сравнению с гипсокартонными плитами ГВП обладают рядом преимуществ (табл. С3.13).

Таблица С3.13

**Сравнительная оценка свойств гипсокартонных и гипсоволокнистых плит**

Показатель	Гипсокартонная плита толщиной 12,5 мм	Гипсоволокнистая плита толщиной 10 мм («Вюртекс»)
Размеры плит, мм:		
– длина	Начиная с 2000 мм с градацией через 250 мм	2500–3600, 6000
– ширина	600, 1250	1250, 2500
– толщина	9,5–25,0	6,5–25,0
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	850	1040–1180
Предел прочности при изгибе, Н/мм <sup>2</sup>	7,0–8,5	6,0–7,0
Предел прочности при поперечном растяжении, Н/мм <sup>2</sup>	0,2	0,4
Модуль упругости, Н/мм <sup>2</sup> :		
– параллельно направлению волокон	3000–3500	2500–3000
– перпендикулярно направлению волокон	3500–4000	3000–3500
Твердость поверхности, Н/мм <sup>2</sup>	16,0	22,0

Окончание табл. С3.13

Показатель	Гипсокартонная плита толщиной 12,5 мм	Гипсоволокнистая плита толщиной 10 мм («Вюртекс»)
Ударная нагрузка, Н/мм <sup>2</sup>	60,0	120,0
Способность материала удерживать шурупы, Н	70,0	350,0
Разбухание по толщине при температуре 20°С и повышении относительной влажности воздуха от 30 до 85%	0,03	0,05
Разбухание по толщине при температуре 20°С и повышении относительной влажности воздуха от 30 до 85%	0,03	0,05
Теплопроводность, Вт/м <sup>2</sup> ·К	0,21	0,30
Звукоизолирующая способность, дБ	31,0	33,0
Огнестойкость (DJN 4102), класс строительного материала	A2	A2 Несгораемый

**Гипсоопилочные блоки.** Гипсоопилочные блоки (ГОб) изготавливают размером 490×290×250 мм для устройства несущих и самонесущих стен в жилых и общественных зданиях, где относительная влажность воздуха не превышает 60%.

В качестве древесного заполнителя используются опилки, прошедшие через сито диаметром 10 мм. Опилки после виброгрохота поступают в бункер, снабженный вибратором для устранения зависания. Одновременно в раздаточный бункер подается гипс. Смешивание гипса с опилками происходит в специальном смесителе, оборудованном валом с лопатками, расположенными по винтовой линии.

Смешивание компонентов осуществляется в такой последовательности. В загрузочное отверстие смесителя по ленточному конвейеру поступают опилки, в это же отверстие из бункера через ячейковый питатель загружают гипс. Вода подается форсунками в противоположный (разгрузочный) конец смесителя. После перемешивания гипсостружечная смесь выгружается в металлические четырехместные формы таким образом, чтобы уложенная в форму масса превышала высоту бортов на 4–5 мм. Формы имеют



откидные борты и съемные перегородки, что обеспечивает быструю их разборку. Продолжительность цикла (от затворения смеси до уплотнения в форме) не должна превышать 2 мин. Уплотнение осуществляется в формах с вибропригрузом.

Формы с блоками перемещаются на склад, где спустя 15–20 мин производят распалубку. Завершающая операция – сушка блоков в сушильных камерах или в атмосферных условиях в течение 2–3 сут.

При изготовлении блоков объемное соотношение гипса и опилок равно 1 : 4. Такая рецептура обеспечивает получение блоков плотностью 650–850 кг/м<sup>3</sup> с высокими физико-механическими показателями (предел прочности при сжатии – 2,0–3,5 МПа, коэффициент теплопроводности – 0,233–0,279 Вт/(м·К)).

### 3.5. Пиролиз древесины

*Пиролиз древесины* (сухая перегонка древесины) – разложение древесины при нагревании до 450°C без доступа воздуха с образованием газообразных и жидких (в том числе древесной смолы) продуктов, а также твердого остатка – древесного угля.

Процесс пиролиза разделяют на 4 стадии.

1. Сушка. Температура – не выше 150°C. На этой стадии из древесины удаляется влага, в том числе связанная; химический состав древесины практически не меняется. Процесс эндотермический.

2. Начальная стадия пиролиза. Температура –150–275°C. Распад гемицеллюлоз, отщепление части, образование CO, CO<sub>2</sub>, метана, уксусной кислоты, метанола. Процесс эндотермический.

3. Пиролиз. Температура – 275–450°C. Распад целлюлозы и лигнина. Вторичные реакции полимеризации. Образование основной массы продуктов разложения. Процесс экзотермический. Особенно сложен для управления и контроля.

4. Прокалка угля. Температура – 400–450°C (до 800°C). Удаление из углеродного скелета остатков летучих веществ, удерживаемых адсорбционно. Формирование углеродных кристаллоидных структур. Отщепление функциональных групп, удерживаемых углеродом. Параллельно идут эндотермические и экзотермические реакции. Суммарный баланс эндотермический.

Продукты пиролиза древесины чрезвычайно разнообразны, среди них выделено более 200 индивидуальных соединений, обра-

зующихся в результате термодеструкции отдельных компонентов древесины, а также продуктов их взаимной конденсации.

Выход продуктов пиролиза зависит от породы древесины, влажности сырья, условий проведения процесса. Усредненные данные о количестве образующихся продуктов приведены в табл. С3.14.

Таблица С3.14

**Выход продуктов пиролиза древесины  
(% от массы абсолютно сухой древесины)**

Порода древесины	Уголь	Смолистые вещества	Легколетучие соединения	Газы	Вода
Ель	37,9	15,3	6,3	18,2	22,3
Сосна	38,0	16,7	6,2	17,7	21,4
Береза	33,6	14,3	12,3	17,0	22,8
Осина	33,0	16	7,3	20,4	23,3

Суммарный пироконденсат (жизка) представляет собой свобододисперсную эмульсию, в которой дисперсионной средой является водный раствор органических веществ, а дисперсной фазой – малорастворимые в воде продукты пиролиза. Разработаны и реализованы в промышленности процессы выделения из пироконденсата уксусной кислоты и метанола, а также получения продуктов на основе смол. Однако вследствие ограниченности спроса на жидкие продукты пиролиза древесины общей тенденцией в организации процессов до последнего времени являлось использование компонентов пироконденсата в качестве топлива, обеспечивающего процесс энергией.

В небольшом масштабе на основе водного раствора выпускают копильные препараты (ароматизаторы), употребление которых для копчения продуктов возрастает, так как их применение позволяет повысить пищевые достоинства продукции и свести к минимуму содержание канцерогенов, в частности бензопирена.

Неконденсируемые газы обычно используются как топливо при пиролизе древесины; в их состав входят 48–60% диоксида углерода, 28–33% монооксида углерода, 3,5–18% метана, около 3% других углеводородов и 1–4% водорода.

Основным продуктом пиролиза древесины является древесный уголь, выход которого составляет 25–45%.

**Технология и оборудование для производства древесного угля.**

Ввиду увеличения направлений использования древесного угля к его свойствам предъявляется еще больше требований и, соответственно, к технологии его получения. Основным направлением улучшения качественных характеристик древесного угля является повышение прочности и плотности конечного продукта. Общая технологическая схема пиролиза древесины представлена на рис. С3.20. Схема является теоретической и редко бывает полностью реализована в промышленных условиях. Материальный баланс приведен округленно.

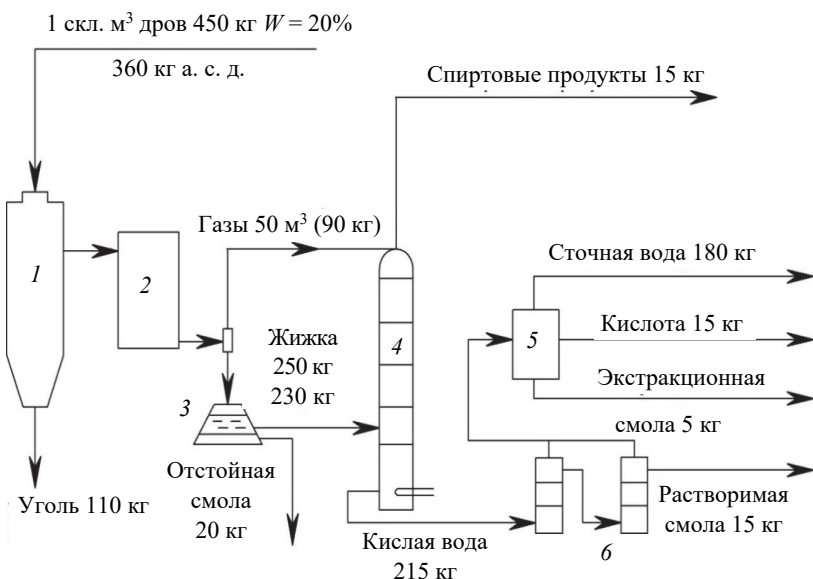


Рис. С3.20. Общая схема пиролиза древесины:

1 – реторта; 2 – конденсатор; 3 – отстойник; 4 – ректификационная колонна;  
5 – узел выделения кислоты; 6 – испарители

**Аппараты для углежжения.** В промышленности используется много разновидностей аппаратов для пиролиза древесины. Общая классификация аппаратов для углежжения приведена на рис. С3.21.

Для производства древесного угля в основном используются углевыжигательные печи. Существует несколько конструкций печей, применяемых для этой цели.

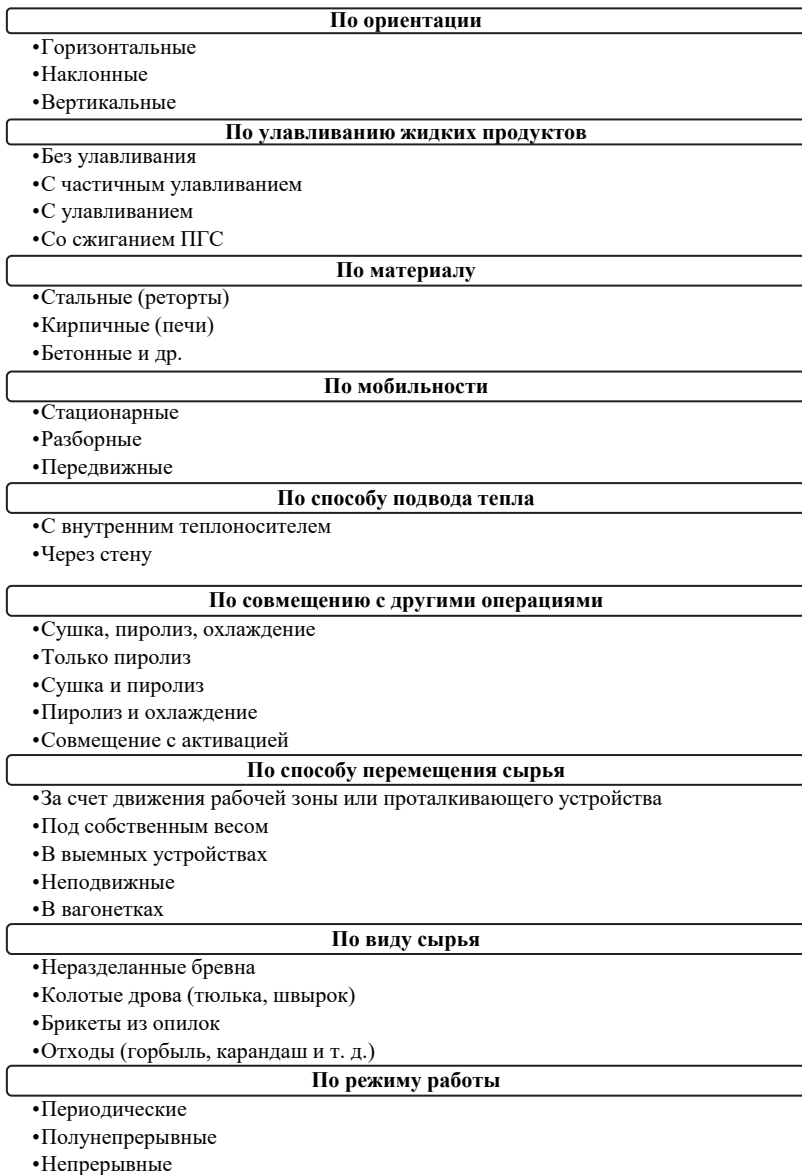


Рис. С3.21. Классификация аппаратов для пиролиза древесины  
(по Ю. Д. Юдкевичу) [39]

Самые распространенные:

камерная печь, стационарная вертикальная реторта, выемная вертикальная реторта, шахтная печь системы Ламбиот, реторта с нагревом теплотой экзотермической реакции [38]. Требования, предъявляемые к углевыжигательным аппаратам следующие:

1) соответствие производительности объему отходов на предприятии (как правило, 3–20 тыс. пл. м<sup>3</sup>/год). Таким образом, исключаются дальние перевозки сырья, удорожающие производство;

2) простота изготовления. Должна предусматриваться возможность перемещения аппарата при передислокации лесозаготовок;

3) экологическая чистота. Необходимо исключить выбросы вредных веществ в окружающую среду и загрязнения. При небольшой производительности нецелесообразно улавливать и перерабатывать жидкие продукты. Они должны сжигаться, покрывая потребности процесса в теплоте;

4) простота управления, взрыво- и пожаробезопасность.

По принципу действия различают аппараты непрерывно действующие, периодически действующие и полунепрерывного действия.

Наиболее совершенными являются непрерывно действующие аппараты, так как полезный объем у них выше, качество продукции равномерно, они могут быть полностью автоматизированы и механизированы, ручной труд при их обслуживании почти не используется, а условия труда персонала соответствуют современным требованиям. Имеется возможность широкого управления качеством продукции, в том числе получение высококачественного угля с содержанием нелетучего углерода до 95%, что достигается увеличением температуры прокалики угля до 800°C и выше. Достигается также существенная экономия топлива, а многим видам подобных аппаратов топливом служат жидкие и газообразные продукты пиролиза, а привозное топливо необходимо лишь иногда для «розжига» аппарата при его запуске. Недостатком подобных реакторов можно назвать то, что они производят только один вид продукции – древесный уголь – в связи с невозможностью утилизации жидких продуктов пиролиза.

Аппараты пиролиза древесины также классифицируются по принципу обогрева – на аппараты с наружным и внутренним обогревом. В аппаратах с наружным обогревом тепло от теплоносителя к древесине передается через стенки реторт за счет их теплопроводности. Стенки обогреваются горячими топочными газами.

Внутри аппаратов тепло от стенок через прослойку газов передается древесине лучистым тепловым потоком и конвекцией. По этой причине разложение древесины начинается около стенок и вследствие малой теплопроводности древесины происходит неравномерности, что ведет к неравномерному качеству получаемого угля и перерасходу топлива.

Преимущество аппаратов с внутренним обогревом состоит в том, что тепло от теплоносителя передается непосредственно древесине путем искусственной циркуляции и конвективного теплопереноса. В них также меньше теряется жидких продуктов, так как они быстро выводятся из зоны пиролиза вместе с потоком топочных газов, при этом стенки реторты не перегреваются.

**Горизонтальные реторты и печи.** В настоящее время эти аппараты признаны устаревшими, однако на многих лесохимических предприятиях они продолжают работу. К ним относятся: туннельная стальная вагонная реторта, туннельная кирпичная вагонная реторта, углевыжигательная печь системы Козлова, кирпичная камерная печь Шварца, углевыжигательные печи «Свердлеспром-4» и УВП-5.

Углевыжигательная печь УВП-5 (рис. С3.22) является мобильной установкой периодического действия с цилиндрической двухстенной камерой углежжения, с внутренним обогревом древесины при углежжении топочными газами, с выносной топкой, которая футерована огнеупорным кирпичом. Внутри камеры по всей длине и над топкой расположен газовый канал, служащий распределителем горячих топочных газов. Выход топочных газов осуществляется через вытяжную трубу. Диаметр печи – 2,33 м, длина – 6 м, оборот печи – 60 ч, производительность – 100–120 т угля в год. Утилизация парогазов отсутствует. Главным преимуществом установки является ее мобильность, она транспортируется автомобильным транспортом, что обеспечивает легкий доступ к древесному сырью.

Среди разновидностей шахтных непрерывно действующих аппаратов следует выделить вертикальную непрерывно действующую реторту и реторту «Ламбиот». Вертикальные непрерывно действующие реторты (рис. С3.23) имеют высокий уровень автоматизации и механизации.

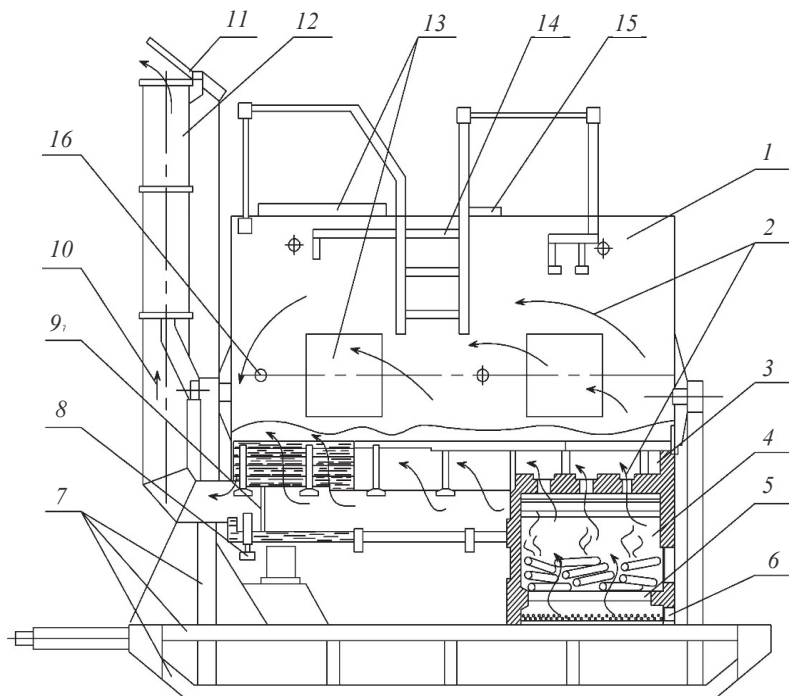


Рис. С3.22. Схема углевыжигательной печи УВП-5А:

- 1 – камера углежжения; 2 – направление потока горячих топочных газов; 3 – газовый тоннель; 4 – топка; 5 – колосники; 6 – дверка поддувала; 7 – рама; 8 – термометр; 9 – перегородка; 10 – направление потока отработанной газовой смеси; 11 – заслонка вытяжной трубы; 12 – вытяжная труба; 13 – загрузочный люк; 14 – лестница наружная с поручнями; 15 – предохранительный клапан; 16 – контрольная трубка

Получаемый древесный уголь имеет массовую долю нелетучего углерода не менее 88% и зольность не более 2,5%. Единичная мощность отечественных вертикальных реторт достигает 14 тыс. т угля в год. Эти аппараты позволяют утилизировать жидкие продукты пиролиза, если на них имеется спрос. Такая реторта представляет собой стальной цилиндр, составленный из царг на фланцевом соединении с внутренним диаметром 0,5–2,8 м. Наиболее распространенной является вертикальная реторта с внутренним диаметром 2,7–2,8 м, толщиной стенок – 14 мм, высотой с затворами – 26–29 м, полезной высотой – 15,1–18 м.

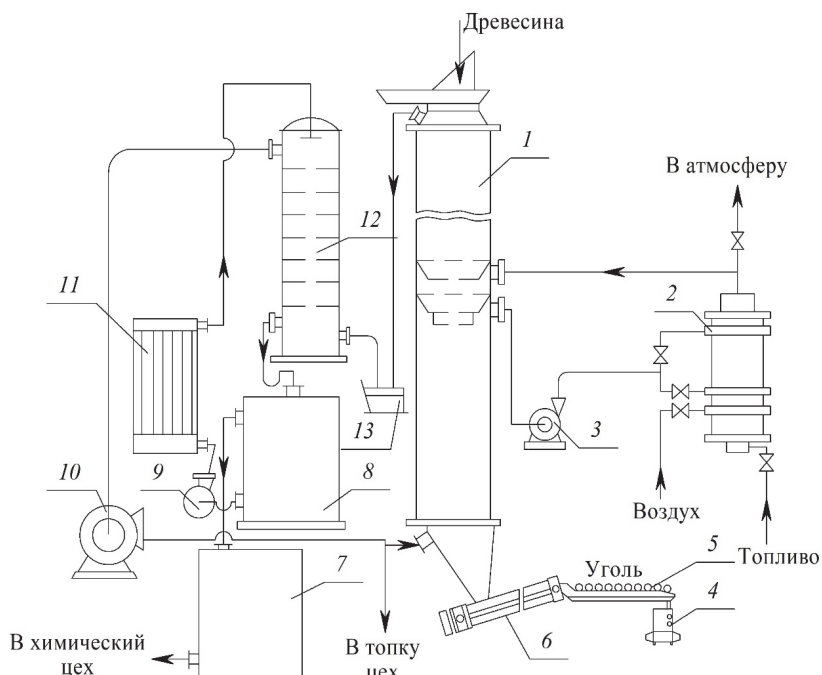


Рис. С3.23. Общая схема вертикальной непрерывно действующей реторты:

- 1 – вертикальная реторта; 2 – топка; 3 – турбогазодувка второго контура;
- 4 – контейнер для угля; 5 – конвейер-стабилизатор; 6 – скребковый конвейер;
- 7 – сборник жидких отходов; 8 – сборник обратной жидки; 9 – насос;
- 10 – турбогазодувка основного контура; 11 – холодильник;
- 12 – скруббер; 13 – гидрозатвор

Процесс получения угля в цехе вертикальных непрерывно действующих реторт включает пиролиз древесины, охлаждение и конденсацию жидких продуктов пиролиза, охлаждение неконденсирующихся газов и угля, стабилизацию угля и получение теплоносителя. В процессе работы в реторте поддерживается избыточное давление во избежание подсоса воздуха в зону пиролиза. Высушенная древесина в виде чурки длиной 200 мм скиповым подъемником подается в загрузочную тещку реторты, откуда при открытии верхнего тележечного гидравлического затвора загружается в реторту, где происходит пиролиз древесины, в результате которого образуются уголь и парогaзы. В реторте древесина медленно движется сверху вниз и проходит



следующие зоны: окончательной сушки при температуре 150–270°C; пиролиза при температуре 270–450°C; охлаждение угля.

Одним из наиболее совершенных технологических решений среди аппаратов пиролиза древесины является реторта, разработанная бельгийской фирмой «Ламбиот» (рис. С3.24). Она представляет собой цилиндр с переходом к нижней части в конус. Реторта имеет вверху загрузочный люк для подачи сырья, внизу – шлюзовой затвор для выгрузки древесного угля.

Парогазы пиролиза сжигаются как в самом процессе в виде топлива, так и в виде факела. Сырьем для реторты служит воздушно-сухая древесина в виде чурок длиной 300 мм и влажностью 25–35%.

Реторту можно условно разделить на три зоны. Верхняя, куда загружается древесина, является дополнительной сушилкой; средняя (расширенная) – зоной пиролиза и прокалики угля; нижняя – зоной охлаждения. Топочная зона располагается между верхней и средней зонами. При помощи вентилятора туда через штуцера нагнетаются горячие газы пиролиза, забираемые с низа средней зоны из-под специального конуса. Через патрубки в топочную зону поступает воздух для сжигания парогазов пиролиза. Температура в этой зоне повышается до 500–600°C.

Образующаяся смесь парогазов и продуктов их сжигания частично поступает в нижележащую зону пиролиза, а избыток уходит в верхнюю часть реторты – сушилку. Часть горячих газов, образующихся в топочной зоне, поступает в сушильную часть реторты для подсушки древесины от 25–35%-ной влажности до абсолютно сухого состояния, затем подается в трубу и сгорает в виде факела, что исключает попадание вредных веществ в атмосферу.

Древесный уголь поступает из зоны пиролиза в зону охлаждения, которое осуществляется за счет ввода в нижнюю часть реторты охлажденных инертных газов, циркулирующих в этой зоне. При достаточно высокой температуре инертные газы, выходящие из зоны охлаждения угля, концентрируются под конусным сужением, расположенным между зонами пиролиза и охлаждения угля, и направляются в небольшой циклон, откуда попадают в конденсатор-холодильник (скруббер), орошаемый охлажденной водой. Затем холодные газы вентилятором вдуваются в нижнюю часть реторты. Некоторый избыток воды, образующийся в процессе конденсации парогазов, попадающих в замкнутую систему охлаждения инертного газа, сливается в условно чистые воды.

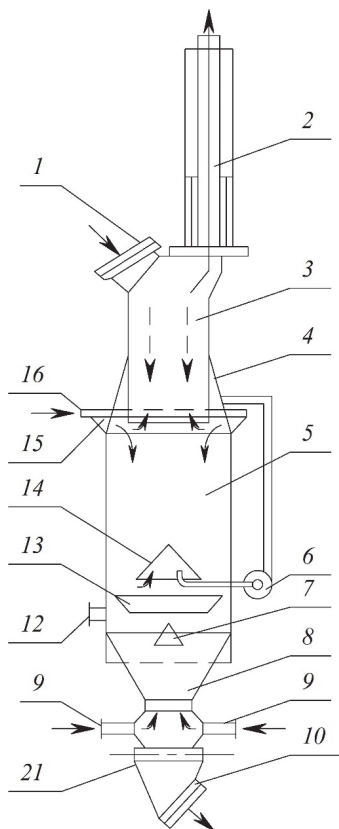


Рис. С3.24. Реторта «Ламбиот» для пиролиза древесины:

- 1 – люк загрузки древесины; 2 – выход парогазов в атмосферу;
- 3 – зона сушки; 4 – зона сжигания парогазов; 5 – зона пиролиза;
- 6 – вентилятор; 7, 14 – конусы для разгрузки слоя угля;
- 8 – зона охлаждения; 9 – вход охлаждающего газа;
- 10 – люк для выгрузки угля; 11 – шибер; 12 – выход горячего газа;
- 13 – конус, разделяющий зоны; 15 – впуск воздуха;
- 16 – коллектор для воздуха

Работа реторты полностью автоматизирована, управляется с помощью компьютера, на монитор которого выводятся все параметры технологического процесса. Оборот реторты составляет 14 ч. Реторта производительностью 2000 т угля в год в качестве сырья потребляет за это время 8000 т воздушно-сухой древесины,

что соответствует объему 10 350 пл. м<sup>3</sup> березовой или 12 230 пл. м<sup>3</sup> сосновой древесины. Полученные уголь имеет влажность не более 4%, массовую долю нелетучего углерода 85–90%. Выход угля для березовой древесины достигает 193 кг/м<sup>3</sup>, для сосновой – 163 кг/м<sup>3</sup>. Фирмой «Ламбиот» разработаны установки производительностью от 2000 до 6000 т угля в год. Аппараты с возможностью утилизации жидких продуктов пиролиза в настоящее время фирмой не выпускаются из-за низкого спроса на них.

**Производство активных углей.** Активный уголь – адсорбент с высокоразвитой пористой структурой, состоящий преимущественно из углерода. Получают активный уголь из ископаемых или древесных углей удалением из них смолистых веществ и созданием разветвленной сети пор. Благодаря тому, что органические вещества хорошо адсорбируются активным углем, он широко применяется в сорбционной технике для улавливания и возвращения в производство ценных органических растворителей, для разделения газовых смесей, в противогазовой технике, как адсорбент и как основа для каталитических и хемосорбционно-активных добавок, для очистки воды и других сильно полярных жидкостей от примесей органических веществ, в медицине для поглощения газов и различных вредных веществ при желудочно-кишечных заболеваниях.

Лесохимической промышленностью вырабатывается уголь древесный активный конденсатный марки ДАК, применяемый на электростанциях для очистки парового конденсата от масла и других примесей. Для его производства сырьем служит угольная мелочь с размером частиц 1,2–3,5 мм (отход производства карбюризатора).

Процесс производства можно разделить на следующие стадии: транспортировка к печи активации; активация; охлаждение и упаковка (рис. С3.25). Частицы угля подаются в печь активации – стальной цилиндр, футерованный жароупорным кирпичом. Угол наклона печи активации – 2°, частота вращения – 0,5–1,2 мин<sup>-1</sup>. Уголь прокаливается там в течение 45–60 мин под воздействием парогазовой смеси, состоящей из продуктов сгорания дизельного топлива и перегретого пара. Установлено, что активирующим началом является входящий в состав парогазовой смеси химически связанный кислород, в результате взаимодействия с которым смолистые и другие органические загрязнения исходного угля превращаются в газообразные соединения или образуют твердые углеродные вещества. Температура

активации – 800–950°С. При ее повышении более 950°С снижается качество активного угля, а при температуре менее 800°С снижается интенсивность процесса активации.

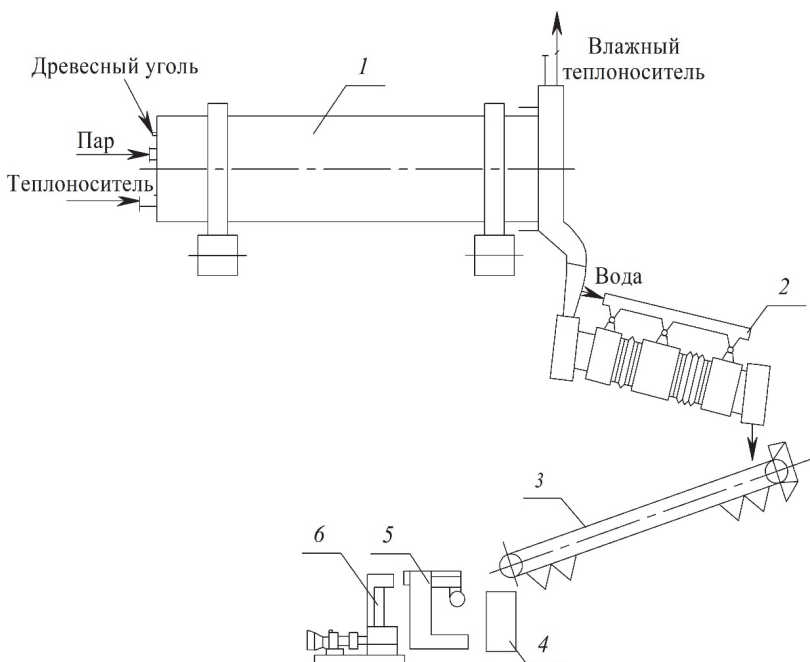


Рис. С3.25. Схема производства активного угля ДАК:

1 – печь активации; 2 – охладитель; 3 – ленточный конвейер; 4 – приемник угля ДАК; 5 – весы; 6 – упаковочная машина

Из печи активации активный уголь непрерывно подается в охладитель, представляющий собой вращающийся барабан, орошаемый сверху водой. Уголь охлаждается до температуры не более 30°С и поступает на конвейер, с него сыпается в крафт-мешок, и после взвешивания и зашивания мешка на упаковочной машине формируется партия угля. Ее выдерживают в помещении цеха не менее 8 ч, после чего она отправляется на склад готовой продукции. Выход активного угля составляет не более 50% от исходного древесного угля. Использование специально подобранных катализаторов активации можно повысить выход активного угля примерно в 1,5 раза.

Показатели активного угля марки ДАК следующие: активность по йоду – не менее 30%, пористость по воде – не менее 1,4 см<sup>3</sup>/г, содержание золы – до 6%, влаги – 10%.

Имеется технология получения высококачественно активного осветляющего угля переработкой экстракционных заводов.

**Производство древесно-угольных брикетов.** Древесно-угольная мелочь может рассматриваться как отход производства древесного угля. Была предложена технология ее переработки в брикеты, что позволило утилизировать древесно-угольную мелочь с получением высококачественного продукта. Древесно-угольные брикеты – высококачественное топливо, они также могут использоваться в производстве кристаллического кремния для замены части крупнокускового древесного угля. Брикеты имеют высокую механическую прочность (6,9–9,8 МПа), повышенную плотность (0,9–1,0 г/см), высокую удельную теплоту сгорания (30 000–32 000 кДж/кг), малую гигроскопичность.

При брикетировании древесно-угольной мелочи используются связующие вещества – нефтеполимерные смолы и другие нефтепродукты, а также продукты переработки растительных материалов – декстрины, крахмал, лигносульфонаты, талловый пек и др.

Технологический процесс производства можно разделить на следующие стадии: измельчение угля; приготовление брикетной массы; прессование брикетов; сушка брикетов и прокаливание.

Древесно-угольная мелочь со склада автотранспортом доставляется к установке, затем элеватором загружается в дисковую дробилку. В ней она подвергается измельчению до фракции менее 1 мм. Затем с помощью винтового конвейера она периодически подается в бегуны, куда одновременно вводится связующее – лигносульфонаты, нефтебитумы или древесная смола, а из водопроводной сети – определенный объем воды. Полученная брикетная смесь в чаше бегунов перемешивается, растирается и направляется на прессование. Сформованные сырые брикеты ленточным конвейером подаются в сушилку, обогреваемую дымовыми газами, а затем прокаливаются в печи. Теплоносителем служат топочные газы, полученные сжиганием неконденсирующихся газов с присадкой солярового масла в топке-смесителе. При прокаливании брикетов образуются парогазы,

которые направляются на конденсацию и охлаждение. Конденсат возвращается в бегуны для приготовления следующей порции брикетной массы или поступает для сжигания в топку. При использовании в качестве связующей древесной смолы конденсат направляется в сборник-отстойник, откуда верхний водный слой подается в бегуны для приготовления брикетной смеси, а нижний масляный слой вместе с соляровым маслом поступает для сжигания в топку.

Охлаждаются брикеты до 30°C неконденсирующимися газами, образующимися при прокаливании, после чего отправляются на склад готовой продукции.

Установлено, что оптимальными условиями получения брикетов являются: массовая доля связующего 15–20%, воды – 40% от массы абсолютно сухого сырья, время приготовления смеси в бегунах – 60–90 мин, давление прессования – 25 МПа, температура прокаливании – 500–550°C.

### **3.6. Производство товаров народного потребления**

На лесных складах объемы древесного сырья, перерабатываемого на товары народного потребления, сравнительно невелики – обычно не более 15 тыс. м<sup>3</sup> в год. В качестве сырья используют низкокачественные лесоматериалы, не находящие сбыта, дрова, тонкомерные сортаменты, отходы лесопильно- и шпалорезных цехов. Производство товаров народного потребления по объему перерабатываемого сырья не является ведущим в комплексном использовании древесины. Но значение его велико для решения социально-экономических проблем. Оно способствует выпуску дополнительной товарной продукции из 1 м<sup>3</sup> заготавливаемой древесины, укреплению экономики предприятий, обеспечивает занятость трудоспособного населения лесных поселков и рабочих, которые освобождаются при внедрении процессов механизации и автоматизации основного производства.

Все многообразие товаров народного потребления классифицируется: по виду используемого древесного сырья, назначению и способу изготовления (рис. С3.26).

Большое количество отходов древесины позволяет изготавливать из них бытовые изделия: кухонные доски, скалки, топорища, корыта, совки, детские санки, игрушки, коляски, деревянные молотки, лопаты, цветочницы, вешалки, сувениры, различную клепку, форточки и фрамуги оконные и т. д. (рис. С3.27).

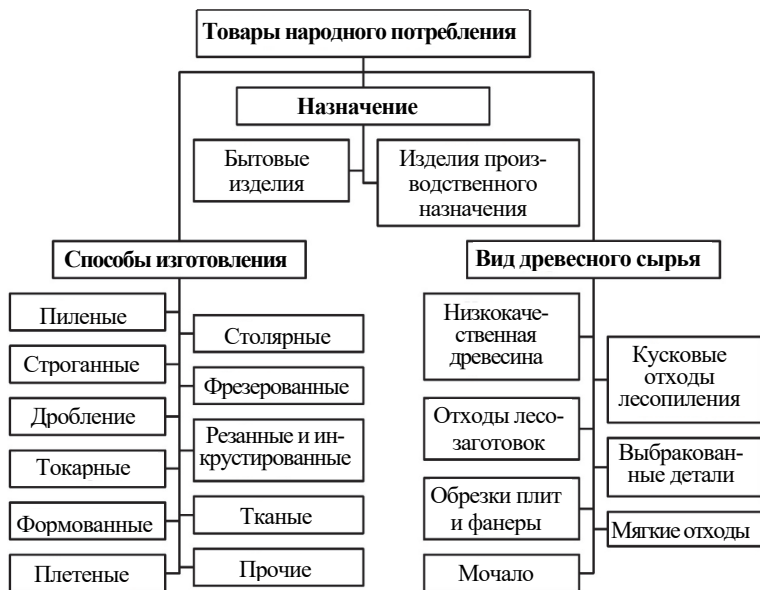


Рис. С3.26. Классификация товаров народного потребления из низкокачественной древесины и отходов производства



Рис. С3.27. Бытовые изделия из древесины

Помимо бытовых, изготавливаются изделия и производственного назначения: строительные детали, столярные и обозные изделия, мебель, тара, древесная стружка, продукты химической переработки древесины и др. (рис. С3.28). Для изготовления товаров народного потребления и производственного назначения используют различные способы: столярный, токарный, фрезерование, пиление, горячее прессование, формирование, инкрустацию, резьбу, плетение, ткачество и др.

Производство товаров народного потребления на лесозаготовительных предприятиях осуществляют деревообрабатывающие мастерские и специализированные цехи. Небольшие мастерские с объемом переработки до 2,0–2,2 тыс. м<sup>3</sup> сырья в год производят обычно столярно-строительные изделия для собственных нужд. В некоторых случаях мастерские выпускают несложные товары и изделия промышленного назначения, которые не требуют квалифицированного труда: штакетник, щиты для снегозадержания, дощатую тару, крепежные клинья, различные прокладки для транспортировки и складирования строительных материалов, металлоизделий, полуфабрикатов. Применение простой технологии позволяет использовать рабочих, не занятых на лесозаготовительном производстве в периоды распутицы. Работу в таких мастерских организуют несколько постоянно занятых квалифицированных рабочих. В течение года они заготавливают полуфабрикаты, часть которых складывают на промежуточном складе. Выпуск товарной продукции в расчете на 1 м<sup>3</sup> перерабатываемого сырья в деревообрабатывающих мастерских примерно в 1,5 раза ниже, чем в специализированных цехах. Ниже производительность труда и фондоотдача.

Специализированные цехи по производству товаров народного потребления различают малой, средней и большой мощности. Годовой объем перерабатываемого сырья в цехе малой мощности составляет не более 5000 м<sup>3</sup>, в цехе средней мощности – до 10 000 м<sup>3</sup>, в цехе большой мощности – более 10 000 м<sup>3</sup>. Выбор целесообразного объема переработки следует производить с учетом трудовых и лесосырьевых ресурсов, которыми располагает лесозаготовительное предприятие.





Рис. С3.28. Древесные изделия производственного назначения

Технология производства товаров народного потребления зависит от их назначения, конструкции и качества отделки поверхности. Большинство изделий требует искусственной сушки древесины и отделки. Одни товары, изготавливаемые механической обработкой древесины, в окончательном виде поставляют и используют без отделки. Другие собирают из отдельных деталей, соединяя их различными способами в готовые изделия. В производстве сувениров часто применяют художественную роспись, выжигание, резьбу по дереву.

Технологический процесс производства товаров народного потребления обычно включает в себя операции раскроя древесных материалов, создания базовых поверхностей, обработку в размер по сечению и формирование сечения, чистовое торцевание, сверление, шлифование, создание на поверхности защитно-декоративного покрытия.

Для выполнения различных операций применяют соответствующее станочное оборудование. Пластины и брусья получают на лесопильных рамах различного типа, шпалорезных и

развальных станках, ленточнопильных станках. Для продольной распиловки брусьев, досок и горбылей используют одно- и многопильные обрезные станки. Для поперечной распиловки и торцовки досок, дощечек и брусков применяют станки для поперечной распиловки.

### 3.7. Переработка коры и древесной зелени

Большое содержание хвои, листвы и коры в биомассе кроны ограничивает ее использование в традиционных отраслях лесохимической переработки древесины. Но в то же время они являются ценным ресурсом в других отраслях промышленности: фармацевтической, пищевой, парфюмерной и др. В них содержится большое количество органических веществ, аналоги которых либо недоступны человеку, либо производятся путем синтеза и имеют все присущие синтетическим продуктам недостатки.

*Кора* является одним из отходов механической обработки древесины, которая не учитывается в балансе древесины при изготовлении пиломатериалов и фанеры. Кора находит применение в качестве топлива, в сельском хозяйстве, при оформлении ландшафта, для получения дубильных веществ, в производстве корьевых и древесно-корьевых плит, угля, дегтя, кормовых продуктов.

Химический состав коры мало отличается от химического состава древесины, но содержание минеральных веществ в коре существенно выше (около 4%). В коре содержится значительно меньше целлюлозы, но присутствуют водорастворимые экстрактивные вещества (до 30% в хвойных породах). В березовой бересте содержится до 40% суберина – пробкового вещества с низкими водо- и газопроницаемостью и теплопроводностью.

При использовании коры в качестве топлива целесообразно снижать ее влажность до 50–60% путем как механического отжима, так и конвективной сушки в сушилках барабанного типа и аэродинамических. Предварительно кору измельчают и из нее извлекают металлические включения. Измельченная кора и опилки могут использоваться для получения топливных брикетов.

Древесная кора является источником многих ценных экстрактивных веществ, из которых получают биологически активные, дубильные, красящие и прочие ценные продукты. Из коры хвойных,

в частности пихты белокорой, можно получать эфирное (пихтовое) масло, используемое в ароматерапии и медицинской практике.

Естественно, каждое деревообрабатывающее предприятие должно стремиться к комплексному использованию древесного сырья. Здесь можно рекомендовать схему комплексной переработки коры хвойных деревьев (ели, сосны, кедра) с получением удобрений, сорбционных материалов и химических продуктов. Основная доля (до 90%) измельченной коры направляется на компостирование. Часть коры подвергается последовательной экстракции с получением дубильного экстракта и пектина. Твердый остаток коры после экстракции является пористым углеродным материалом с высокой сорбирующей способностью. Это его свойство используется для внесения азото- и фосфорсодержащих добавок, необходимых для производства качественных удобрений. Березовая кора является сырьем для изготовления дегтя, используемого как дезинфицирующее вещество в медицине и косметике.

Кора может использоваться во внутреннем слое трех- и пяти-слойных стружечных плит. Исследования ЦНИИ фанеры показали, что трехслойные плиты при любом содержании коры во внутреннем слое в 1,2–1,5 раза прочнее однослойных. Внутренний слой на 40–50% может состоять из измельченной березовой коры. Более низкие результаты дает использование осиновой коры – приходится увеличивать содержание связующего во внутреннем слое с 9,0–9,5 до 10,5–11,0% (от массы абсолютно сухой древесины). Как показывают исследования, продукт, полученный при переработке коры хвойных пород, вполне пригоден для использования в плитном производстве.

Одним из направлений является применение коры в качестве декоративного укрывистого материала для оформления садов и парков, благоустройства территории. Кора предотвращает рост сорных растений, менее опасна по сравнению с отсевом и щебнем при благоустройстве детских площадок.

Кора успешно применяется в сельском хозяйстве для приготовления грунтов, подстилки на фермах, в качестве удобрений после обогащения азотсодержащими элементами, а также в качестве дополнительного корма для животных после компостирования, удаления дубильных веществ и очистки от металлических и минеральных примесей. Из коры изготавливают и кормовую муку. Кора, особенно ели и лиственницы, может использоваться и для производства танинов –

дубильных веществ, используемых в кожевенном производстве для повышения износостойкости и водонепроницаемости кожи.

Пиролиз коры позволяет получать из нее уголь-сырец, после активации которого изготавливают материал с высокой сорбционной способностью, который применяют в самых разных областях промышленности, в основном в фильтрах для очистки различных жидкостей и сточных вод, для сбора разливов нефти и т. п.

В большинстве областей применения древесная кора подвергается удалению из нее металлических и минеральных примесей, измельчению в кородробилках, молотковых мельницах и при сушке.

Выбор оптимального варианта переработки коры зависит от многих факторов: породы древесины, способа доставки сырья (водного или сухопутного), объемов получаемой коры, доступности энергоресурсов, наличия потребителей продукции из коры и т. д. В любом случае переработка коры должна носить комплексный характер. Кора из обременительного вторсырья может стать экономически выгодным ресурсом [38].

*Древесная зелень* является особым видом лесного сырья, который, главным образом, состоит из живых клеток хвои (листьев), молодых (перенхимных) побегов, а также коры. Живые клетки растений имеют в своем составе большое количество белков, углеводов, витаминов, ферментов, желтых и зеленых пигментов, стериннов, микроэлементов и прочих веществ. Потому основными направлениями ее использования являются фармацевтика и производство кормов.

Специфика технологии и организации заготовки и переработки древесной зелени состоит в ограничениях по срокам хранения ее до переработки. Хвоя, пролежавшая на лесосеке после рубки деревьев при положительной температуре более 7 дней, теряет многие ценные свойства. Поэтому хвойную лапку необходимо заготавливать и отгружать для промышленной переработки сразу же после проведения рубок.

Сбор древесной зелени зависит от многих факторов биологического характера, а также от условий валки, трелевки и вывозки древесины. При валке часть кроны обламывается и остается на лесосеке. Выход и потери древесной зелени зависят также от того, каким агрегатом отделяют древесную зелень и где производится отделение. Исходя из этого, в настоящее время обоснована необходимость выделения экономически доступных ресурсов лесозаготовок, которые могут явиться предметом эффективного освоения и переработки в конечные продукты.

Наиболее трудоемкой стадией производства продукции из древесной зелени является ее заготовка. В промышленной практике применяются два варианта технологии заготовки древесной зелени, при одном из которых хвойная лапка отделяется непосредственно на лесосеке. При втором на лесосеке собираются ветви и вершины, которые доставляются на нижний склад, где измельчаются на рубильной установке. Измельченная масса пропускается через сортировочное оборудование, которое обеспечивает ее разделение на древесную зелень и щепу. При сложившейся технологии лесозаготовок в процессе заготовки древесной зелени на предприятиях выполняются следующие операции: сбор ветвей, тонкомерных деревьев и древесной зелени; отделение древесной зелени от веток и тонкомерных деревьев; транспортирование веток и древесной зелени.

Дальнейшая переработка древесной зелени может отличаться в зависимости от типа производства. Так, технологический процесс получения хвойно-витаминной муки состоит из следующих основных операций:

- подготовка сырья для производства древесной муки;
- измельчение сырья в сырой продукт с целью относительного выравнивания размера частиц;
- сушка сырого продукта для получения требуемой влажности муки и обеспечения наиболее выгодных режимов измельчения;
- измельчение сухого материала с целью получения продукта требуемой дисперсности;
- сортировка продукта измельчения – извлечение древесной муки необходимых марок;
- упаковка древесной муки.

Химическая переработка древесной зелени происходит в основном путем экстракции. Для этого сырье предварительно измельчается до получения волокнистой массы. Далее осуществляется экстракция смесью органического растворителя и воды, после чего проводятся регенерация растворителя из полученного материала, подготовка остатков переработки для хранения или на корм животным.

Экстракты веществ, которые растворяются в органических растворителях или воде, можно превращать в определенную товарную продукцию для дальнейшего использования в косметической, медицинской и прочих сферах промышленности (рис. С3.29).



Рис. С3.29. Продукция переработки древесной зелени

После экстракции получают такие продукты:

- хвойная хлорофилло-каротиновая паста. Она обладает мощными и дезодорирующими и лечебными свойствами, а также представляет собой поливитаминный препарат широкого спектра действия и используется как биологически активная добавка в парфюмерно-косметической продукции;
- тяжелое эфирное масло, которое является главной составляющей большого количества лечебных препаратов и применяется в парфюмерной промышленности;
- хвойный воск. Такой продукт популярен в гигиенических и декоративных косметических средствах;
- водный хвойный экстракт. Он используется в медицине и быту для создания целебных хвойных ванн, которые полезны при заболеваниях центральной и периферической нервной системы, болезнях сердца и ревматических заболеваниях.

## Раздел 4. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ

### 4.1. Методы определения экономически доступных ресурсов отходов

#### 4.1.1. Показатели экономической доступности ресурсов отходов

Условия экономической доступности в аналитической форме выражаются неравенством

$$\Pi'_n \geq \Pi_n + C_T, \quad (\text{Э4.1})$$

где  $\Pi'_n$  – предельная цена сырья (полуфабриката);  $\Pi_n$  – нормативная стоимость подготовки сырья (полуфабриката);  $C_T$  – стоимость транспортировки сырья (полуфабриката).

Для оценки доступности древесных отходов при выработке из них массового полуфабриката предельная цена и нормативная стоимость определяются не на исходное сырье (отходы), а на полуфабрикат. В качестве перспективного в потреблении массового полуфабриката рассматривается технологическая щепа для производства целлюлозы, картона, плит, гидролизных и лесохимических продуктов.

Предельную цену технологической щепы устанавливают по условиям ее эффективной переработки на конечные продукты и рассчитывают по формуле

$$\Pi'_n = \frac{\Pi_k - q_k \cdot (1 + P_k)}{h_k \cdot (1 + P_k)}, \quad (\text{Э4.2})$$

где  $\Pi_k$  – оптовая цена конечного продукта, руб./ед.;  $q_k$  – затраты на производство конечного продукта без стоимости сырья, руб./ед.;  $h_k$  – расход полуфабриката (щепы) на единицу конечной продукции, м<sup>3</sup>/ед.;  $P_k$  – коэффициент рентабельности в размере отраслевого норматива относительно себестоимости в производстве конечного продукта.

При проектировании конкретных установок по переработке отходов предельную цену щепы определяют исходя из конкретных

условий работы предприятия-потребителя с использованием в качестве исходных параметров в формуле (Э4.2) статистических данных (для освоенных производств) или нормативных данных (для проектируемых производств).

При оценке доступности отходов в районном или отраслевом масштабе предельную цену сырья определяют как среднюю величину по всей совокупности предприятий-потребителей сырья для данного района или отрасли в целом. Для таких видов ресурсов, как опилки, кора, древесная зелень, предельную цену рассчитывают на единицу отходов аналогично цене на щепу по формуле (Э4.2).

Нормативную стоимость щепы по условиям ее эффективного производства при переработке древесных отходов на нижних складах леспромхозов и на биржах деревоперерабатывающих предприятий определяют по формуле

$$Ц_{щ} = (Ц_{от} \cdot h_{щ} + q_{щ} + q_{п}) \cdot (1 + P_{щ}), \quad (\text{Э4.3})$$

где  $Ц_{щ}$  – нормативная стоимость производства щепы франко-предприятие-поставщик, руб./м<sup>3</sup>;  $Ц_{от}$  – исходная оценка стоимости (цена) перерабатываемого древесного сырья (при переработке отходов на том же предприятии, где они образовались, экономическая доступность определяется при нулевой стоимости отходов), руб./м<sup>3</sup>;  $h_{щ}$  – норма расхода древесных отходов в расчете на 1 м<sup>3</sup> технологической щепы, м<sup>3</sup>;  $q_{щ}$  – затраты на производство единицы полуфабриката (щепы) без стоимости сырья;  $q_{п}$  – затраты на сбор и доставку отходов с лесосеки к месту переработки;  $P_{щ}$  – нормативный коэффициент рентабельности в производстве щепы относительно себестоимости.

Здесь и далее при переработке нескольких видов отходов и дров пользуются средневзвешенным удельным расходом, определяемым по формуле

$$h_{щ} = \frac{V}{\frac{V_1}{h_1} + \frac{V_2}{h_2} + \dots + \frac{V_k}{h_k}}, \quad (\text{Э4.4})$$

где  $V_1, V_2, V_k$  – объемы отдельных видов отходов и дров;  $V$  – суммарный объем отходов и дров;  $h_1, h_2, h_k$  – удельный расход отдельных видов отходов и дров.



При оценке доступности древесных отходов большую роль играет фактор концентрации их ресурсов, влияние которого устанавливают в зависимости от затрат на производство ( $q_{\text{ш}}$ ), определяемых объемами перерабатываемого сырья ( $V$ ):

$$q_{\text{ш}} = A + \frac{B \cdot h_{\text{ш}}}{V}, \quad (\text{Э4.5})$$

где  $A$  – переменные затраты на 1 м<sup>3</sup> щепы, руб./м<sup>3</sup>;  $B$  – условно-постоянные расходы в расчете на весь объем вырабатываемой щепы, тыс. руб.;  $V$  – объем перерабатываемого сырья (отходов, дров) в одном пункте, тыс. м<sup>3</sup>.

Зависимость затрат на переработку отходов от степени концентрации их ресурсов устанавливают методами корреляции с использованием фактических или нормативных данных. Аналитическое выражение этой зависимости дифференцируют по видам перерабатываемых отходов и типам технологических процессов, применяемых в лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности.

Нормы расхода отходов при производстве технологической щепы устанавливают по фактическим данным или по материалам экспериментальных исследований. Удельные нормы расхода отходов дифференцируют по их видам и направлениям использования.

Транспортные затраты на перевозку щепы потребителям (что в большинстве случаев является необходимым условием ее использования) устанавливают на базе существующих тарифов для железнодорожного, автомобильного и водного транспорта.

Транспортные расходы вычисляют по формуле

$$C_{\text{т}} = t \cdot L_{\text{п}} + U_1 + U_2, \quad (\text{Э4.6})$$

где  $t$  – переменная составляющая транспортных затрат, (руб./м<sup>3</sup>)·км;  $L_{\text{п}}$  – расстояние перевозки щепы, км;  $U_1$  – суммарные условно-постоянные транспортные затраты, руб./м<sup>3</sup> (таблица);  $U_2$  – расход на погрузку и выгрузку щепы, руб./м<sup>3</sup>.

Установление экономически доступных ресурсов древесных отходов с использованием двух стоимостных величин (предельной цены щепы и нормативной стоимости ее производства и транспортирования) может быть осуществлено различными методами, которые рассматриваются ниже.

Таблица

**Значения параметров  $t$  и  $U_1$**   
(по данным Лесотехнической академии имени С. М. Кирова)

Вид транспорта	$t$	$U_1$	Примечание
Автомобильный	0,053	0,83	$L_n = 10-100$ км
Железнодорожный	0,0019	0,54	$L_n = 50-2000$ км
Водный (для европейских пароходств)	0,0015	0,71	$L_n = 51-120$ км
	0,0015	0,83	$L_n = 121-260$ км
	0,0018	0,86	$L_n = 261-510$ км

#### 4.1.2. Метод пообъектного расчета при наличии информации о расположении возможных потребителей щепы

При оценке доступности ресурсов отходов по этому методу используют следующие исходные данные:

- объем основного производства для каждого пункта концентрации отходов;
- удельные нормативы образования реальных ресурсов отходов;
- предельная цена щепы, установленная для конкретного потребителя как индивидуальная величина;
- расстояние доставки щепы до потребителя.

Доступность ресурсов определяют по формуле

$$\Pi'_n \geq \left( \Pi_{от} \cdot h_{щ} + A + \frac{B \cdot h_{щ}}{V} + q_n \right) \cdot (1 + P_{щ}) + t \cdot L_n + U_1 + U_2. \quad (\text{Э4.7})$$

При оценке доступности отходов в леспромхозах объемы технологической щепы рассчитывают с учетом ресурсов дровяной древесины, направляемой в переработку. Совместная переработка дров и древесных отходов в щепу технологически обусловлена сходством их потребительских свойств. Эффективность производства щепы увеличивается с ростом концентрации ресурсов сырья. В формулу (Э4.7) подставляют параметры, характеризующие конкретные условия производства и потребления щепы в зависимости от концентрации отходов и расстояния доставки. Ресурсы являются доступными, если предельная цена ( $\Pi_n$ ) равна или превышает значение правой части неравенства (Э4.7).

### 4.1.3. Метод пообъектного расчета при отсутствии информации о размещении потребителей щепы

Метод следует применять для оценки ресурсов отходов при перспективном планировании их использования в отдельных районах или в масштабах отрасли. Ввиду отсутствия информации о размещении потребителей щепы в расчетах доступности используют среднеотраслевые (районные) значения параметров предельных цен и затрат на производство щепы. Экономическая доступность определяется нахождением возможного расстояния транспортировки щепы до потребителей:

$$L_n = \frac{P_n - (C_{от} \cdot h_{щ} + A + B \cdot h_{щ} + q_n) \cdot (1 + P_{щ}) - U_1 - U_2}{t}. \quad (\text{Э4.8})$$

Если  $L_n$  принимает значения, близкие к 0, то ресурсы отходов доступны при переработке щепы на конечные продукты только в местах ее производства.

### 4.1.4. Метод графических схем

Рассмотренные выше методы пообъектного расчета доступности ресурсов обеспечивают высокую точность полученных результатов, но связаны с большими вычислениями, что затрудняет их практическое использование при большом количестве пунктов концентрации отходов. В целях перспективного планирования и прогнозирования использования древесных отходов следует рекомендовать метод графических схем и номограмм, обеспечивающих упрощенное решение задач геометрическим способом.

Графическая схема (рис. Э4.1) характеризует условия размещения ресурсов относительно возможных пунктов переработки щепы в конечные продукты (нижние склады леспромхозов, лесобиржи деревообрабатывающих предприятий) и условия концентрации ресурсов отходов.

Для построения графических схем неравенство (Э4.7) решается относительно величины  $V$  при изменении величины  $L_n$ .

$$V = \frac{B \cdot h_{щ} \cdot (1 + P_{щ})}{P'_n - (C_{от} \cdot h_{щ} + A + q_n) \cdot (1 + P_{щ}) - t \cdot l_n - U_1 - U_2}. \quad (\text{Э4.9})$$

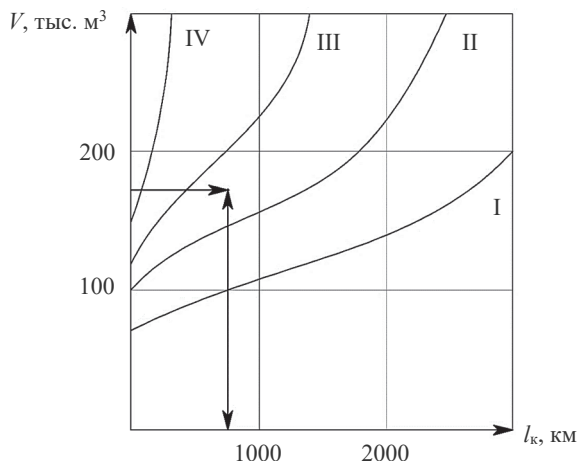


Рис. Э4.1. Графическая схема условий экономической доступности ресурсов низкосортной древесины и отходов

Графики I–IV на схеме – это различные варианты использования отходов, отличающиеся видами и структурой перерабатываемого сырья и направлением использования щепы. Например, вариант I предполагает использование всех отходов и дровяной древесины при выработке щепы для целлюлозно-бумажного производства, вариант III – переработку того же сырья на щепу для производства плит и т. д.

Чтобы решить задачу на определение доступности ресурсов отходов с использованием графических схем, достаточно нанести на поле условий точку с координатами  $(V, l_n)$ , характеризующими объем перерабатываемого сырья (дров и отходов в одном пункте  $(V)$  и расстояние до возможных потребителей щепы  $(l_n)$ ). Если указанная точка окажется выше и левее графика, соответствующего рассматриваемому варианту, то ресурсы отходов для производства щепы следует считать экономически доступными; если положение точки будет ниже и правее графика, то ресурсы отходов рассматривают как экономически недоступные.

Графические схемы должны быть дифференцированы по замыканию пунктов производства щепы к путям транспорта и по районам с однородными условиями образования отходов и потребления щепы. Степень достоверности определения экономически доступных ресурсов методом графических схем зависит от

того, насколько условия производства и потребления щепы в том или ином конкретном районе соответствуют параметрам, заложенным в построение графических схем. Если эти условия для отдельных районов значительно расходятся, то графические схемы строятся для каждого района.

Для решения задачи на определение экономической доступности отходов по району (группе предприятий) или отрасли рекомендуется метод номограмм, который основан на группировках ресурсов по степени их концентрации, осуществляемых при оценке реальных ресурсов. В левом квадранте номограммы (рис. Э4.2) расположена кумулятивная кривая реальных ресурсов древесных отходов, построенная на базе их распределения по уровню концентрации. В правом квадранте помещаются дискриминанты графической схемы, аналогично рис. Э4.1.

Экономически доступные ресурсы определяются как разность между общим объемом ресурсов и экономически недоступными ресурсами ( $V - V_{\text{н}}$ ).

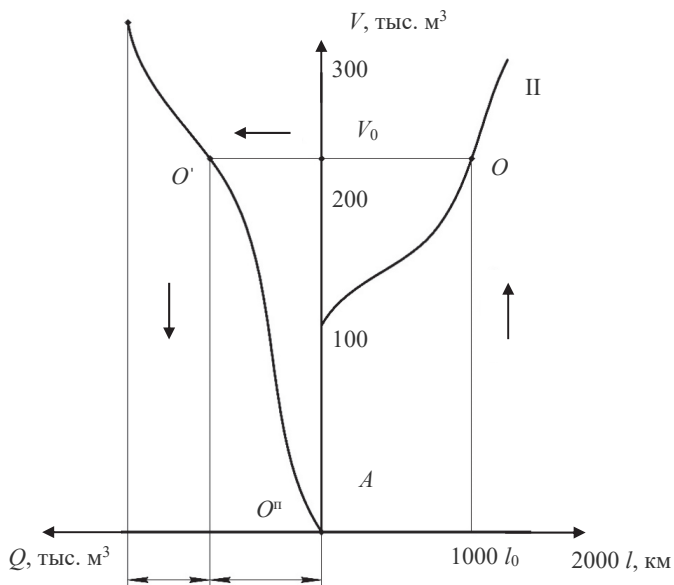


Рис. Э4.2. Номограмма для определения экономически доступных ресурсов низкосортной древесины и отходов

## **4.2. Экономические показатели производств по переработке древесных отходов**

### **4.2.1. Общие экономические показатели**

Организация производственных процессов по использованию древесных отходов на предприятиях связана с привлечением дополнительных производственных ресурсов, состоящих:

- из единовременных капитальных вложений, направляемых на создание основных производственных фондов и нормируемых оборотных средств;
- текущих затрат в форме трудовых, материальных и денежных ресурсов.

Капитальные вложения направляются:

- на приобретение оборудования, рабочих машин, транспортных и передаточных средств;
- монтаж оборудования;
- проведение строительных работ (строительство зданий, сооружений).

Источниками финансирования капитальных вложений являются:

- бюджетные ассигнования при строительстве больших крупномасштабных объектов по переработке отходов (централизованное финансирование);
- фонд развития производства;
- ссуды государственного банка.

Текущие затраты на переработку отходов формируют себестоимость вырабатываемой товарной продукции. Себестоимость продукции, получаемой из отходов, включает все затраты на ее производство и реализацию. В общем виде себестоимость складывается из затрат на приобретение сырья (отходов) и на его переработку.

Нормы расхода сырья устанавливаются на основании нормативов или на базе экспериментальных данных для случаев создания и внедрения новых технологических процессов. Нормы расхода сырья (отходов) дифференцируются по породам и размерно-качественным характеристикам. Исходная оценка сырья (отходов) производится по действующим прейскурантам (если таковые имеются) или на основании директивных документов министерств и ведомств.

Результатом организации производства по переработке отходов является получение товарной продукции, рассчитываемой по формуле

$$R = \sum_{i=1}^m Q_i \cdot \check{C}_i, \quad (\text{Э4.10})$$

где  $R$  – товарная продукция, вырабатываемая из отходов;  $m$  – ассортимент вырабатываемой продукции в едином технологическом процессе переработки отходов;  $Q_i$  – объем производства  $i$ -го вида продукции;  $\check{C}_i$  – оптовая цена  $i$ -го вида продукции по действующим прейскурантам.

При изменении запасов готовой продукции из отходов на складах объем реализации определяется следующим образом:

$$R_{\text{н}} = R \pm \Delta R, \quad (\text{Э4.11})$$

где  $R_{\text{н}}$  – объем реализации продукции, вырабатываемой из отходов;  $\Delta R$  – изменение остатков готовой продукции на складах.

Эффективность технологических процессов по переработке отходов оценивается системой показателей, построенной по единому принципу сопоставления затрат и результатов.

Прибыль от реализации определяется по следующей формуле:

$$\Pi = \sum_{i=1}^m (\check{C}_i - C_i) \cdot Q_i, \quad (\text{Э4.12})$$

где  $C_i$  – себестоимость единицы  $i$ -го вида вырабатываемой продукции.

Затраты производственных ресурсов складываются:

- из основных фондов ( $\Phi$ );
- трудовых ресурсов ( $T_p$ );
- материальных ресурсов ( $I$ ).

Основные фонды оцениваются по их балансовой стоимости исходя из данных бухгалтерского учета.

Эффективность использования основных фондов, занятых в производствах по переработке отходов, оценивается системой измерителей в натуральном и денежном выражении.

Натуральные измерители, характеризующие использование фондов по времени и выработке, применяются для оценки эффективности работы отдельных видов машин и оборудования в составе

технологических и транспортных процессов: коэффициент технической готовности, коэффициент использования исправных машин и оборудования, коэффициент сменности использования оборудования и машин.

Применение машин и оборудования по выработке характеризуется следующими показателями: годовая выработка по конечной продукции или по объему переработанного сырья на одну списочную машину (установку), сменная производительность.

Задачами предприятий в области улучшения использования основных фондов по переработке древесных отходов являются:

- 1) увеличение сменности работы установок (оборудования) и загрузки их до величины проектной мощности;
- 2) ликвидация внутрисменных потерь времени за счет повышения коэффициента технической готовности;
- 3) повышение качества выпускаемой товарной продукции;
- 4) рост единичных мощностей установок (оборудования) при условии обеспеченности их сырьем.

Задачам снижения себестоимости вырабатываемой продукции соответствует условие, записанное следующим неравенством:

$$\Delta ПТ > \Delta W, \quad (\text{Э4.13})$$

означающим необходимость превышения темпов роста производительности труда над темпами роста средней заработной платы.

Эффективность комплексного использования отходов (материальных ресурсов) оценивается следующими показателями:

- 1) расход древесных отходов на единицу готовой продукции:

$$h = \frac{V}{Q}, \quad (\text{Э4.14})$$

где  $V$  – объем перерабатываемых отходов,  $\text{м}^3$ ;  $Q$  – объем производства готовой продукции,  $\text{м}^3$ ;

- 2) сьем товарной продукции с  $1 \text{ м}^3$  перерабатываемых отходов:

$$\varepsilon_1 = \frac{R}{V}; \quad (\text{Э4.15})$$

- 3) сьем товарной продукции с рубля стоимости используемых отходов:



$$\varepsilon_2 = \frac{R}{V \cdot \Pi_{\text{от}}}, \quad (\text{Э4.16})$$

где  $\Pi_{\text{от}}$  – принятая исходная оценка стоимости отходов в калькуляции себестоимости продукции;

4) сьем прибыли с 1 м<sup>3</sup> перерабатываемого сырья:

$$\varepsilon_3 = \frac{\Pi}{V}; \quad (\text{Э4.17})$$

5) сьем прибыли с рубля стоимости перерабатываемого сырья:

$$\varepsilon_3 = \frac{\Pi}{V \cdot \Pi_{\text{от}}}. \quad (\text{Э4.18})$$

Показатели  $\varepsilon_1 - \varepsilon_4$  характеризуют комплексность и глубину переработки древесных отходов, рациональность и эффективность производственных процессов.

Итоговую оценку эффективности производственных процессов по переработке древесных отходов (в процентах) дает показатель рентабельности продукции, определяемый по формуле

$$\Pi = \frac{\Pi - C}{C} \cdot 100\%, \quad (\text{Э4.19})$$

где  $C$  – себестоимость единицы продукции.

Особого рассмотрения заслуживают вопросы оценки эффективности капитальных вложений в производствах по переработке древесных отходов. При строительстве новых цехов, производственных участков, предназначенных для выпуска товарной продукции, эффективность капитальных вложений оценивается показателями общей эффективности, определяемыми по формулам:

1) коэффициент общей эффективности:

$$E_0 = \frac{R - C}{K}, \quad (\text{Э4.20})$$

где  $K$  – объем капитальных вложений по сметной оценке.

Капитальные вложения включают в себя стоимость приобретаемого оборудования, машин и механизмов, стоимость монтажа и строительных работ;

2) срок окупаемости капитальных вложений:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{R - C} = \frac{K}{\Pi}; \quad (\text{Э4.21})$$

3) годовой экономический эффект:

$$\text{Э}_{\text{год}} = (R - C) - K \cdot E_{\text{н}} = \Pi - K \cdot E_{\text{н}}, \quad (\text{Э4.22})$$

где  $E_{\text{н}}$  – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений.

Условие эффективной организации производственных процессов по переработке древесных отходов достигается в случаях, когда

$$T_{\text{ок}} \leq T_{\text{ок}}^{\text{н}}, \quad (\text{Э4.23})$$

где  $T_{\text{ок}}^{\text{н}}$  – нормативный срок окупаемости капитальных вложений.

Особенностью определения технико-экономических показателей использования древесных отходов в лесозаготовительной промышленности является переработка древесных отходов в едином потоке с переработкой дров и маломерной древесины, являющихся продукцией, неизбежно образующейся в процессе лесозаготовок. Такая форма организации переработки отходов повышает эффективность производственных процессов за счет роста концентрации, обеспечивает полную загрузку оборудования.

В основе создания единых производственных процессов лежит сходство потребительских свойств названных групп сырья. Однако организация переработки не позволяет установить в чистом виде экономические показатели использования отходов лесозаготовок, поэтому все расчеты должны проводиться обезличенно на весь объем перерабатываемого сырья (отходы лесозаготовок, дрова, маломерная древесина).

Вовлечение древесных отходов в переработку является основой для развития процесса комбинирования на предприятиях лесозаготовительной и лесопильно-деревообрабатывающей промышленности. Уровень такого комбинирования определяется по соотношениям производственных ресурсов и достигаемых результатов:

1) товарной продукции:

$$y_1^k = \frac{R}{R_0}; \quad (\text{Э4.24})$$

2) прибыли:

$$Y_3^k = \frac{\Pi}{\Pi_0}; \quad (\text{Э4.25})$$

3) основных фондов:

$$Y_3^k = \frac{F}{F_0}; \quad (\text{Э4.26})$$

4) трудозатрат:

$$Y_4^k = \frac{T}{T_0}, \quad (\text{Э4.27})$$

где  $R_0$ ,  $\Pi_0$ ,  $F_0$ ,  $T_0$  – соответственно суммарные значения показателей товарной продукции, прибыли, основных фондов и трудозатрат на предприятии.

Изучение показателей  $Y_1^k - Y_4^k$  в динамике позволяет установить тенденции в развитии комплексного использования древесного сырья. Организация переработки древесных отходов на предприятиях изменяет их экономические показатели эффективности.

#### **4.2.2. Оценка экономической эффективности использования отходов**

В качестве показателя эффективности промышленного использования древесных отходов принимается величина прибавочного продукта, образующегося в сферах переработки отходов и производства конечной продукции, отнесенная к единице потребленного сырья (древесных отходов). На разных уровнях национальной экономики получаемый прибавочный продукт оценивается различными видами эффекта:

– на уровне предприятий, строек – хозрасчетным эффектом, измеряемым прибылью;

– на уровне отраслей – межотраслевым эффектом, состоящим из прибавочного продукта, реализуемого в сферах производства и потребления щепы (отходов) и оцениваемого по разнице между предельной ценой щепы и нормативной стоимостью ее производства за вычетом транспортных расходов;

– на уровне национальной экономики – народнохозяйственным эффектом, учитывающим различные формы экономии общественного труда при вовлечении в переработку древесных отходов (экономия лесных ресурсов, экономия затрат на заготовку леса, снижение транспортных затрат, экономия капитальных вложений и др.).

Хозрасчетный эффект для предприятий, вырабатывающих технологическую щепу из древесных отходов (леспромхозы, лесозаводы, деревообрабатывающие предприятия), рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_{1x} = \frac{\mathcal{C} - C_1}{h_{щ}} \geq \frac{\Pi}{h_{щ}}, \quad (\mathcal{E}4.28)$$

где  $\mathcal{C}$  – оптовая цена технологической щепы франко-поставщик;  $C$  – полная себестоимость 1 м<sup>3</sup> щепы при нулевой стоимости отходов;  $\Pi$  – нормативная прибыль на 1 м<sup>3</sup> щепы;  $h_{щ}$  – норма расхода отходов на производство 1 м<sup>3</sup> щепы.

Эффективность и срок окупаемости капитальных вложений в производство щепы оценивают с использованием показателя хозрасчетного эффекта ( $\mathcal{E}_{1x}$ ) по формулам:

$$E_1 = \frac{\mathcal{E}_{1x} \cdot h_{щ}}{K_1}; \quad (\mathcal{E}4.29)$$

$$T_1 = \frac{1}{E_1}, \quad (\mathcal{E}4.30)$$

где  $K_1$  – удельные капитальные вложения в расчете на 1 м<sup>3</sup> щепы.

Для предприятий – потребителей щепы при оценке хозрасчетного эффекта используют формулу

$$\mathcal{E}_{2x} = \frac{\mathcal{C}_к - C_2}{h_к \cdot h_{щ}} \geq \frac{K_2 \cdot r}{h_к \cdot h_{щ}}, \quad (\mathcal{E}4.31)$$

где  $\mathcal{C}_к$  – оптовая цена конечной продукции, вырабатываемой из отходов (целлюлоза, плиты и т. п.);  $C_2$  – полная себестоимость единицы конечной продукции;  $h_к$  – расход щепы на единицу конечной продукции;  $K_2$  – удельные капитальные вложения в производство конечной продукции;  $r$  – норматив среднеотраслевой рентабельности фондов.

Эффективность и срок окупаемости капитальных вложений в производство конечной продукции из древесных отходов рассчитывают по формулам:

$$E_2 = \frac{\mathcal{E}_{2\text{х}} \cdot h_{\text{н}} \cdot h_{\text{щ}}}{K_2}; \quad (\text{Э4.32})$$

$$T_2 = \frac{1}{E_2}. \quad (\text{Э4.33})$$

Для определения показателей хозрасчетного эффекта предприятия располагают всей необходимой статистической информацией. Однако применение показателей хозрасчетного эффекта обеспечивает объективную оценку лишь в тех случаях, когда оптовые цены на щепу и конечные продукты отражают общественно необходимые затраты.

Межотраслевой эффект суммарно отражает условия производства и потребления щепы и рассчитывается при помощи предельной цены и нормативной стоимости производства щепы по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{от}} = \left( \Pi + C_{\text{д}} + \frac{K_2 \cdot r}{m} - C_{\text{т}} \right) \cdot \frac{1}{h_{\text{щ}}}, \quad (\text{Э4.34})$$

где  $\Pi$  – нормативная прибыль на 1 м<sup>3</sup> щепы;  $C_{\text{д}}$  – разница между предельной ценой и нормативной стоимостью производства щепы ( $C_{\text{д}} = C_{\text{г}} - C_{\text{ш}}$ );  $C_{\text{т}}$  – транспортные расходы на перевозку щепы.

При определении эффективности использования отходов транспортные расходы оцениваются по формуле (Э4.6) или принимаются по фактическому расстоянию перевозки щепы, когда известно местонахождение предприятия – потребителя щепы, или по среднесложившимся расстояниям, когда отсутствует информация о расположении возможных потребителей щепы.

Применение показателей аналогично хозрасчетному эффекту при выработке продукта в пределах одного предприятия, где образовались отходы. В случаях, когда полуфабрикат из отходов (например, технологическая щепка) вывозится за пределы предприятия, показатели межотраслевого эффекта применяют вышестоящие планирующие органы, научные и проектные организации.

Народнохозяйственный эффект от использования отходов рассчитывают по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{н.х}} = \mathcal{E}_{\text{от}} + \Delta\mathcal{E}_1 + \Delta\mathcal{E}_2 + \Delta\mathcal{E}_3, \quad (\mathcal{E}4.35)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{от}}$  – межотраслевой эффект, рассчитываемый по формуле ( $\mathcal{E}4.34$ );  $\Delta\mathcal{E}_1$  – экономия транспортных затрат при получении дополнительных ресурсов сырья путем переработки отходов вместо ввоза сырья из многолесных районов (чаще всего северных и восточных);  $\Delta\mathcal{E}_2$  – эффект от экономии капитальных вложений при уменьшении объемов лесозаготовок в многолесных районах;  $\Delta\mathcal{E}_3$  – эффект, уменьшающий затраты на создание кадров для лесной промышленности и обеспечение их жильем.

Параметры  $\Delta\mathcal{E}_1$ ,  $\Delta\mathcal{E}_2$ ,  $\Delta\mathcal{E}_3$  определяют на  $1 \text{ м}^3$  отходов.

Экономия транспортных затрат оценивается снижением затрат на ввоз древесины из других районов (областей) за счет использования отходов древесины. Для районов с напряженным балансом древесного сырья, куда древесина ввозится в большом количестве и на значительные расстояния, величина этого эффекта окажется существенной. Эффект от экономии капитальных вложений в лесозаготовительное производство определяют с учетом нормативов удельных капитальных вложений на рассчитываемый период ( $K_{\text{н}}$ ) и коэффициента их эффективности ( $E_{\text{н}}$ ) по формуле

$$\mathcal{E}_2 = K_{\text{л}} \cdot E_{\text{н}}. \quad (\mathcal{E}4.36)$$

Оценка эффекта, снижающего затраты на обеспечение кадров лесной промышленности жильем, сопряжена с выявлением потребности в дополнительных капитальных вложениях в жилищное строительство при организации лесозаготовок в многолесных районах. Без учета социальных последствий этот эффект может быть определен по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_3 = E_{\text{н}} \cdot \Delta K, \quad (\mathcal{E}4.37)$$

где  $\Delta K$  – дополнительные капитальные вложения в жилищное строительство на  $1 \text{ м}^3$  сырья при его заготовке в многолесных районах по сравнению с его производством в малолесных районах.

Полученные показатели характеризуют эффективность использования отходов древесины. В тех случаях, когда конечная продукция из отходов используется вместо продукции из традиционных материалов (например, технологическая щепка взамен балансов), определяют сравнительную эффективность по величине экономии приведенных затрат:

$$\Theta_{\text{уд}} = \frac{(C_{\text{пс}} + C'_{\text{т}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{пс}}) \cdot K_{\text{вз}} - (C_{\text{по}} + C''_{\text{т}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{по}})}{h_{\text{к}} \cdot h_{\text{ш}}}, \quad (\text{Э4.38})$$

где  $C_{\text{пс}}$  – себестоимость продукта из первичного сырья, руб./м<sup>3</sup>;  $C'_{\text{т}}$  – затраты на транспорт первичного сырья к месту переработки, руб./м<sup>3</sup>;  $E_{\text{н}}$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;  $K_{\text{пс}}$  и  $K_{\text{по}}$  – удельные капитальные вложения в производство продукта из первичного сырья и продукта из отходов, руб./м<sup>3</sup>;  $K_{\text{вз}}$  – коэффициент эквивалентности продукта из отходов и первичного сырья;  $C_{\text{по}}$  – себестоимость продукта из отходов при их нулевой цене, руб./м<sup>3</sup>;  $C''_{\text{т}}$  – затраты на транспорт продукта из отходов к месту потребления, руб./м<sup>3</sup>;  $h_{\text{к}}$  – удельный расход продукта из отходов на изготовление конечного продукта;  $h_{\text{ш}}$  – удельный расход отходов на изготовление продукта из него.

При переработке отходов в технологическую щепу:

$$C_{\text{по}} = C_{\text{ш}} = q_{\text{ш}} + q_{\text{п}}; \quad (\text{Э4.39})$$

$$C''_{\text{т}} = C_{\text{т}}; \quad h_{\text{от}} = h_{\text{ш}}; \quad (\text{Э4.40})$$

$$K_{\text{оп}} = K. \quad (\text{Э4.41})$$

Транспортные расходы  $C'_{\text{т}}$  и  $C''_{\text{т}}$  определяют исходя из фактических и средневзвешенных расстояний перевозок.

В БГТУ разработаны **методические подходы к оценке эффективности переработки древесного сырья на предприятиях лесной и деревообрабатывающей промышленности** [40].

Базисным условием развития предприятий деревообрабатывающей промышленности является непрерывное повышение эффективности переработки древесного сырья. На практике эффективность деревообработки отождествляется с комплексным использованием древесного сырья. Под «комплексным использованием» древесного сырья авторы понимают совокупность оптимальных форм организации производственных процессов деревообрабатывающего производства в их неразрывных взаимосвязях, при которых все компоненты будут использованы с максимально возможным экономическим эффектом. То есть комплексное использование древесного сырья не всегда предполагает его полное применение. Например, можно переработать весь объем древесного сырья путем сжигания в качестве топлива, что означает лишь полноту использования сырья, но не его комплексность [41].

Комплексное использование древесного сырья представляет собой единый производственно-экономический процесс, сформированный совокупностью качественно разнородных процессов. Это и определяет специфику выбора показателей эффективности комплексного использования сырья, которые должны отражать, прежде всего, рациональность сочетания различных технологических потоков, то есть устанавливать оптимальную структуру предприятий или их объединений, обеспечивающую наибольший выход продукции с 1 м<sup>3</sup> сырья при минимуме затрат. По своему экономическому содержанию комплексное использование древесины характеризуется наибольшим выходом продукции с единицы перерабатываемого сырья и определяется следующими предпосылками [41]:

- качественные характеристики древесного сырья (например, породный состав и структура древесины), обуславливающие возможность получения различных видов продукции;

- взаимозаменяемость различных видов древесного сырья при его переработке (например, применение пиловочного сырья как в производстве пиломатериалов, так и в целлюлозно-бумажном производстве и т. д.);

- значительная неоднородность качественных и количественных характеристик потребительских свойств различных групп древесного сырья, обусловленная природно-климатическими факторами производства (например, бонитетом насаждений, их возрастом, породным составом и др.);

- наличие при традиционных способах переработки древесины, представленных, как правило, механической обработкой, значительного количества отходов, физические характеристики которых определяют их ценность как сырья для других производств.

Действующие подходы к оценке комплексной переработки древесного сырья на предприятиях деревообрабатывающей промышленности не показывают в полной мере ее сущности. Подавляющее большинство методов оценки носят значительно формализованный характер, отражающий, как правило, всего лишь одну из многочисленных характеристик – сложившийся уровень технологического процесса переработки древесного сырья. При этом зачастую не рассматриваются такие экономические характеристики, как экономический эффект и эффективность переработки древесного сырья.



В этой связи предложена следующая классификация показателей оценки эффективности использования древесного сырья [42]:

1) показатели экономической эффективности лесопромышленного производства;

2) показатели эффективности переработки древесного сырья;

а) натуральные – глубина переработки сырья, коэффициент комплексного использования сырья;

б) стоимостные – коэффициенты эффективности использования древесного сырья, рассчитанные как отношение произведенной продукции, прибыли от реализации продукции к расходу сырья в натуральном выражении и как отношение произведенной продукции, прибыли от реализации продукции к стоимости сырья и материалов, добавленная стоимость на 1 м<sup>3</sup> древесного сырья.

Первая группа показателей экономической эффективности предполагает применение в качестве ключевых критериев оценки прибыль от реализации продукции, рентабельность реализованной продукции, затраты на 1 руб. произведенной продукции, а также прочие показатели эффективности. Также следует отдельно отметить важность показателя добавленной стоимости, который соответствует требованиям к критериям создания оптимизационной модели производственного процесса и наиболее полно позволяет оценить результирующий экономический эффект от переработки древесного сырья. Первая подгруппа второй группы показателей базируется на оценке непосредственно переработки древесного сырья на предприятиях деревообрабатывающей промышленности. Под показателем глубины переработки сырья понимается степень извлечения полезных компонентов древесного сырья на всех стадиях его переработки [43]:

$$\text{КГПС} = \frac{V_{\text{пер}} + V_{\text{вт}}}{V_0} \cdot 100, \quad (\text{Э4.42})$$

где КГПС – коэффициент глубины переработки сырья, %;  $V_{\text{пер}}$  – объем древесной продукции, получаемой при первичной переработке древесного сырья, м<sup>3</sup>;  $V_{\text{вт}}$  – объем отходов древесного сырья, оставшегося после первичной переработки и используемого при его вторичной переработке, м<sup>3</sup>;  $V_0$  – объем поступающего в переработку древесного сырья, м<sup>3</sup>.

Коэффициент комплексного использования древесного сырья в натуральном выражении рассчитывается по следующему соотношению [43]:

$$\text{ККИС} = \frac{V_{\text{пер}} + V_{\text{вт}} + V_{\text{отх}}}{V_0} \cdot 100, \quad (\text{Э4.43})$$

где ККИС – коэффициент комплексного использования древесного сырья, %;  $V_{\text{отх}}$  – объем всех видов отходов, используемых как топливо и для реализации,  $\text{м}^3$ .

Вторая подгруппа второй группы базируется на стоимостных показателях, которые определяются как отношение экономического эффекта (объема производства, выручки, прибыли) к объему потребленного древесного сырья и в натуральном, и в стоимостном выражении. Преимущество их заключается в том, что расчет ведется по конечным продуктам. Отношение произведенной (или чистой) продукции к расходу сырья и материалов в натуральном выражении ( $\varepsilon_1$ ) рассчитывается следующим образом:

$$\varepsilon_1 = \frac{R_{i(n)}}{V}, \quad (\text{Э4.44})$$

где  $R_{i(n)}$  – произведенная (или чистая) продукция, руб.;  $V$  – объем потребленного древесного сырья,  $\text{м}^3$ .

Отношение прибыли от реализации продукции (или расчетной прибыли, найденной как разница между прибылью отчетного года и платой за производственные ресурсы) к расходу сырья и материалов в натуральном выражении ( $\varepsilon_2$ ):

$$\varepsilon_2 = \frac{\Pi_p}{V}, \quad (\text{Э4.45})$$

где  $\Pi_p$  – прибыль от реализации товаров (или расчетная прибыль), работ, руб.

Отношение произведенной (или чистой) продукции к стоимости сырья и материалов ( $\varepsilon_3$ ):

$$\varepsilon_3 = \frac{R_{i(n)}}{q_n}, \quad (\text{Э4.46})$$

где  $q_n$  – стоимость потребляемого древесного сырья, руб.

Отношение прибыли от реализации продукции (расчетной прибыли) к стоимости сырья и материалов ( $\varepsilon_4$ ):

$$\varepsilon_4 = \frac{\Pi_p}{q_n}. \quad (\text{Э4.47})$$

Отдельно стоит выделить показатель добавленной стоимости, создаваемой в результате переработки 1 м<sup>3</sup> древесного сырья. Важность данного показателя при проведении сравнительного анализа обусловлена содержанием в нем элементов социальной и бюджетной эффективности переработки древесного сырья – прибыли и заработной платы с начислениями. Также величина добавленной стоимости, приходящаяся на 1 руб. стоимости древесного сырья, может характеризоваться как коэффициент переработки древесины по добавленной стоимости, который рассчитывается следующим образом [44]:

$$K_{\text{эф.п}} = \frac{ДС}{V}, \quad (\text{Э4.48})$$

где ДС – добавленная стоимость, руб.

Целесообразность применения стоимостных показателей эффективности использования древесного сырья обусловлена прежде всего их объективностью при оценке рациональности сочетания различных технологических процессов, так как они позволяют устанавливать их оптимальную структуру на предприятии. Следовательно, данная группа показателей дает возможность системно оценить сложившийся технологический уровень процессов переработки древесного сырья, обеспечивающий максимизацию экономического эффекта с 1 м<sup>3</sup> сырья.

## ЧАСТЬ 2. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

### Лабораторная работа № 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И СВОЙСТВ

**Цель работы** – изучить классификацию древесных отходов, их свойства, параметры и основные характеристики; определить параметры представленных образцов древесных отходов и область их применения.

**Оборудование и инструменты:** образцы древесных отходов.

**Методика выполнения:** изучение основных параметров древесных отходов путем визуального осмотра и обмера.

#### **Дополнительная литература:**

1. Разделы 1 и 2 теоретической части данного учебно-методического пособия.

2. Никишов, В. Д. Комплексное использование древесины / В. Д. Никишов. – М.: Лесная пром-сть, 1985. – 264 с.

3. Энергетическое использование древесной биомассы: заготовка, транспортировка, переработка и сжигание: учеб. пособие / авт.-сост. В. С. Сюнев [и др.]. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2014. – 123 с.

**Древесные отходы** – это та часть сырья, которая отделяется в процессе заготовки и производства основной продукции, частично или полностью потерявшая потребительские свойства исходного сырья, но по своим качественным характеристикам может быть использована в других видах производства как основное сырье. Такие древесные отходы называются вторичными ресурсами или дополнительным сырьем. Дополнительное сырье включает отходы лесозаготовок и лесоперерабатывающих производств, а также древесину на лесных складах, по своему составу непригодную для выработки деловых круглых лесоматериалов.

Вторичные ресурсы или дополнительное сырье можно классифицировать:

- по **виду исходного сырья**: сучья, обломки, тонкомер, горбыль, вырезки, карандаши и пр.;
- **породам**: хвойные, лиственные;
- **стадийности обработки**: первичные, вторичные;
- **влажности**: сухие, влажные;
- **форме и размерам**: кусковые, мягкие;
- **виду биомассы**: древесина, кора, древесная зелень.

**Отходами лесозаготовок** называют всю неиспользуемую биомассу дровостоя, оставленную в лесу после лесозаготовительных работ. К ним относят: пни, корни, лесосечные отходы и целые деревья, остающиеся на лесосеке (рис. Л1.1).



Рис. Л1.1. Отходы лесозаготовок:  
*а* – пнево-корневая древесина; *б* – порубочные остатки;  
*в* – тонкомерная и низкокачественная древесина

К **лесосечным отходам** относят обломки стволов и вершины, сучья и ветви, а также откомлевки, если на лесосеке ведется распиловка хлыстов на сортименты. Среди оставленных на корню или брошенных на лесосеке надо выделять тонкомерные и «нежелательные» деревья, товарный сухостой и валежник. К **тонкомерным**

**деревьям** относят те, диаметр которых меньше минимального установленного размера для заготовки. «**Нежелательными**» являются деревья, которые по состоянию ствола и его форме не отвечают хозяйственным целям. **Валежник** – мертвый ствол, лежащий на поверхности почвы, а также ветроломные, буреломные и сломанные деревья.

**Пнево-корневая древесина** составляет порядка 15% от всей биомассы дерева. **Пень** – надземная часть ствола, которая остается после валки на лесосеке (рис. Л1.2). Основными его параметрами являются высота и диаметр пня. С точки зрения дальнейшего использования пня также необходимо учитывать его породу и возраст.

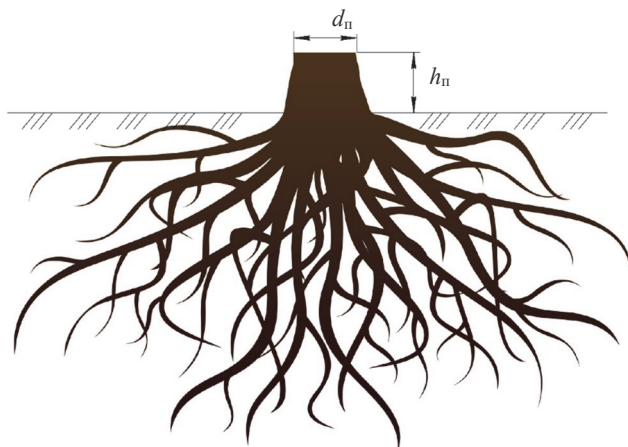


Рис. Л1.2. Пнево-корневая часть дерева

На высоту пня существенно влияют система машин и несущая способность грунта. Близкая к нормативной высота пня получается при валке деревьев бензиномоторными пилами в сухих борах и близких к ним типах леса. Максимальная высота, которая подчиняется нормальному закону распределения, приходится на многооперационные машины, работающие в заболоченной местности.

Четкой зависимости между высотой пня и диаметром не установлено, хотя более крупные пни имеют, как правило, и большую высоту. Между длиной стержневого корня и диаметром существует следующая зависимость (для сосны):

$$l_{\text{cp}} = 2,36 \cdot d_{\text{п}} + 63,155 \quad (r = 0,96). \quad (\text{ЛП.1})$$

Размах пня

$$P = 6,658 \cdot d_{\text{п}} + 108,4 \quad (r = 0,99). \quad (\text{ЛП.2})$$

Средний объем пня

$$V = 0,0003 \cdot d_{\text{п}}^2 - 0,0015 \cdot d_{\text{п}} + 0,042 \quad (r = 0,99), \quad (\text{ЛП.3})$$

где  $r$  – коэффициент корреляции.

Отношение веса пневокорневой древесины к весу ствола колеблется от 15 до 20% при среднем значении 19,1%. Сегодня ведутся поиски технологических решений, позволяющих уменьшить высоту пня. Так, уменьшение высоты пня на 5 см дает возможность дополнительно заготовить примерно 1% сырья. Как технологическое сырье пневокорневая древесина характеризуется свойствами волокон, плотностью, содержанием коры, экстрактивных веществ и минеральных примесей. Длина волокон основной части у хвойных пород меньше, чем стволовой, что приближает ее к лиственной древесине. Она имеет сжатые волокна, более темный цвет и большее содержание смолистых веществ. Все это предопределяет повышенную ее плотность по сравнению со стволовой на 7–17%. Процентное содержание коры в пневокорневой древесине чуть выше, чем у стволовой, и составляет 10–12%.

Опыт использования пневокорневой древесины накоплен в Скандинавских странах и странах СНГ. Основными потребителями такого вида сырья являются канифольно-экстракционные и смолоскипидарные предприятия. Эта древесина может также применяться в плитном производстве, в производстве стройматериалов в смеси с цементом, для получения сульфатной массы, а также в качестве топлива.

**Крупные вершины и обломки стволов.** В целом по своим свойствам и качеству это сырье идентично стволовой древесине. Этот вид сырья используется для получения высококачественной щепы, немерных балансов, древесного угля, организации производства пилопродукции, товаров народного потребления и других целей. Средние потери стволовой древесины на 1 га вырубаемой площади составляют примерно 4,3 м<sup>3</sup> обломков стволов. Объем вершин, остающихся на лесосеке в связи с тем, что их отрезают диаметром более допускаемого стандартом, в среднем составляет

0,6%, но иногда достигают 1,5% от объема вывозимой древесины. Средняя длина вершин – 2–8 м. Наиболее вероятный диаметр в месте отреза – 6,5 см. Наибольшая длина вершин встречается у лиственных пород, примерно 14 м. У хвойных она короче и достигает 11,7 м. Параметры наиболее часто встречающихся обломков стволов в Республике Беларусь составляют: объем – 0,016–0,002 м<sup>3</sup>, диаметр – 9–12 см, длина – 3–4,2 м. Наибольшие потери стволовой древесины имеют место при температуре воздуха  $t = 20^{\circ}\text{C}$  и машинной валке деревьев. В среднем потери при машинной валке деревьев по сравнению с валкой бензомоторными пилами в 1,5–1,9 раза выше.

**Тонкомерные деревья.** Они могут служить сырьем для производства технологической и топливной щепы, выработки балансов, рудстойки, пиловочника, если их диаметр в верхнем отрезе не менее 6 см, а длина не менее 3 м. Такой пиловочник пригоден для переработки на фрезерно-брусующих и фрезернопильных станках, на обрезные пиломатериалы, мебельные заготовки, шестигранные торцевые шашки. Также можно получать декоративную рейку и штакетник, вагонку, некоторые изделия для быта, стеновые заготовки, рукоятки ручного инструмента и другие изделия. Понятие «тонкомерная древесина» экономического характера, которое вытекает из потребительских свойств сырья, и размеры ее зависят от уровня развития и структуры перерабатывающей промышленности конкретной страны.

Деревья с верхним и нижним диаметром менее 6 см считаются хворостом. Количество тонкомерных деревьев на рубках главного пользования зависит от породного состава, происхождения насаждений и возраста. В пределах предприятий Беларуси тонкомерных деревьев потребляется от 4 до 27%. В среднем они составляют 10–12% от объема заготовленной древесины. При этом наибольшее количество приходится на ель – 20%, сосну – 16% и наименьшее на осину – 8%.

У 89% тонкомерных деревьев верхний и нижний диаметры равны 8–10 см, длина – 7–10 м. Тонкомерная древесина, получаемая при рубках ухода, имеет гниль, кривизну и механические повреждения, которыми охвачено от 20 до 73% деревьев. Гнилью поражены в основном осиновые деревья. Кривизна наиболее характерна для березы. По всем видам рубок выход деловой древесины в среднем



составляет 33%. В молодняках хвойных пород он равен 22,4%, у мягколиственных – 15,3%. Малая концентрация сырья на единицу площади приводит к тому, что заготовка древесины при рубках ухода примерно в 2–3 раза дороже, чем при рубках главного пользования.

Кроме стволовой древесины для получения многих продуктов могут использоваться листья и зелень, удельный вес которых в общей биомассе составляет в молодняках до 40%, на рубках прореживания – до 25%. Прогрессивные технологии предусматривают переработку комлевой части тонкомерных деревьев на круглые деловые сортименты, а вершинной части и мелкотоварных целых деревьев – на технологическую щепу и товарную зелень.

Зависимость между длиной комлевой части ствола в верхнем отрезе диаметром 6 см и более и диаметром на высоте груди может быть выражена как

$$L = c \cdot d_{1,3}^2 + b \cdot d_{1,3}^2 + a, \quad (\text{Л1.4})$$

где  $a, b, c$  – коэффициенты, зависящие от породы и формы ствола.

**Сучья, ветви, вершины и древесная зелень.** Размеры, объем сучьев и ветвей зависят от многих факторов. Так, максимальный диаметр сучьев у сосны – не более 17 см, у осины встречаются сучья диаметром более 20 см (табл. Л1.1).

Таблица Л1.1

### Средние и максимальные размеры сучьев

Средний объем хлыста (в коре), м <sup>3</sup>	Средний диаметр на высоте груди, см	Средний диаметр сучьев, см			Максимальный диаметр сучьев, см		
		сосна	ель и пихта	береза	сосна	ель и пихта	береза
0,14	15,0	2,5	1,3	2,9	9,5	4,2	8,8
0,22	17,2	2,8	1,5	3,1	11,0	4,8	10,5
0,30	20,0	3,2	1,7	3,3	11,5	6,4	12,2
0,40	22,0	3,4	2,0	3,7	12,0	6,8	13,0
0,50	24,0	3,7	2,1	4,1	12,5	7,2	13,5
0,76	29,0	4,3	–	–	16,0	–	–
1,11	33,0	–	–	–	17,0	–	–

Длина сучьев и ветвей колеблется в значительных пределах: от 0,5 до 6,5 м при средней величине 2,4 м. Объем сучьев может быть определен в зависимости от объема ствола и диаметра на высоте груди по следующей формуле:

$$V_c = \left( \frac{b}{d_{1,2}} + a \right) \cdot V, \quad (\text{Л1.5})$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты, учитывающие породу.

Наибольшую долю от стволовой древесины составляют сучья, ветви и тонкие вершины у твердолиственных пород – до 18%, у ели – до 13%, наименьшую у сосны и осины – до 9%. Число сучьев на дереве диаметром более 20 см изменяется от 13 до 250 шт. Объемная масса одного складского метра сучьев составляет от 150 до 250 кг. Коэффициент полндревесности сучьев, уложенных в кучи, равен от 0,15 до 0,20. Стягивание пакета сучьев тросом или же уплотнение гусеницами трактора увеличивает коэффициент полндревесности почти в 2 раза. Содержание древесины в сучьях сравнительно невелико и составляет в процентах от абсолютно сухой массы: у сосны – 49%, ели – 23%.

Сложность использования сучьев и ветвей при переработке их в щепу: засоренность минеральными примесями, сбежистость, низкая полндревесность и т. д. Засоренность минеральными примесями в межсезонье и летний период заготовок в случае валки деревьев на землю может достигать 25%. Выход деловой древесины из сучьев и ветвей примерно в 2 раза меньше, чем из пнево-корневой древесины. Считается, что для технологической переработки представляют интерес сучья и ветви диаметром свыше 3 см и длиной не менее 0,5 м, имеющие загрязненность не более 3% общей массы и преимущественно рассортированные по породам.

Содержание коры и зелени по сравнению со стволовой древесиной значительно выше, особенно у ели, у которой кора составляет до 36%, а хвоя – до 41%. Среднее содержание коры достигает 10% от объема деловой сосновой и еловой древесины. При окорке 1 пл. м<sup>3</sup> круглых лесоматериалов хвойных пород ориентировочно получают 30 кг абсолютно сухой древесины.

Химический состав древесины сучьев отличается от химического состава древесины ствола, что показано в табл. Л1.2 [38].

Таблица Л1.2

**Химический состав древесины ствола и сучьев, %**

Компоненты	Ель		Сосна		Осина	
	ствол	сучья	ствол	сучья	ствол	сучья
Целлюлоза	58,80	44,80	56,50	48,20	52,20	43,90
Лигнин	28,01	34,45	27,05	25,42	21,11	25,90
Пентозаны	10,51	12,86	10,48	13,15	22,71	35,90
Эфирная вытяжка	1,03	1,31	4,91	3,32	1,54	2,48
Зола	0,21	0,36	0,19	0,27	0,27	0,33

Древесной зеленью называются побеги с диаметром среза до 6 мм, покрытые хвоей или листьями.

В живых клетках дерева содержится много биологически активных компонентов: витаминов, ферментов, гормонов, фитонцидов, белков, жиров, углеводов и других веществ, пригодных для лечебных, пищевых и кормовых целей. Важнейшие составные части хвои и листьев некоторых древесных пород приведены в табл. Л1.3 [45].

Таблица Л1.3

**Составные части хвои и листьев (мг на 1 кг сухого вещества)**

Составные части	Хвоя сосны	Хвоя ели	Листья березы
Хлорофилл	До 15 000	5 000–14 000	1 400–4 200
Каротин	97–367	70–244	155–527
Витамин Е	До 360	До 350	–
Витамин В	10	11	13
Аскорбиновая кислота	2 040–9 973	2 569–14 430	3 330–11 800
Железо	100–187	116–320	220
Марганец	292–340	53–749	300–500
Цинк	9–94	27–32	67–86
Медь	3–9	5–23	6–27
Кобальт	0,05–0,16	0,015–0,158	0,08–0,18
Полисахариды, %	36	35	16–18

К отходам **деревоперерабатывающих производств** относится древесное сырье, образующееся при первичной обработке лесоматериалов (раскряжке хлыстов на сортименты, окорке, разделке долготы на коротье), а также при механической переработке круглых лесоматериалов в цехах лесо- и шпалопиления, производства фанеры, тары, столярно-строительных изделий, мебели, стандартных домов и пр. (рис. Л1.3).

**Откомлевки** образуются при отторцовке хлыстов и представляют собой комлевую часть ствола с такими пороками формы, как сбежистость, ребристая или округлая закомелистость, которые снижают качество деловых сортиментов или совсем в них не допускаются.



Рис. Л1.3. Отходы деревообрабатывающих производств:  
*а* – горбыль; *б* – рейки; *в* – срезки и отторцовки; *г* – опилки; *д* – стружка;  
*е* – древесная пыль

Откомлевки образуются и в случае дефектов стволов, возникших при валке дерева. Выступающие над поверхностью торца ствола козырьки или часть хлыста удаляются для получения торцевой поверхности сортимента, перпендикулярной продольной оси дерева. Длина откомлевок не превышает 1 м. Древесина откомлевок мало

отличается от стволовой, поэтому вполне пригодна для получения технологической щепы. Однако характерный для нее порок – наклон волокон может вызвать образование мелких частиц с толщиной, более допустимой, и с мятыми торцами. Доля такой древесины в общей массе перерабатываемого на нижнем складе сырья невелика и составляет в среднем 2,5% (1,5–3,0%), поэтому снизить качество щепы существенным образом она не может.

**Отходы лесопиления.** *Горбыли* представляют собой отпиленную периферийную часть бревна, у которых одна пласть пропилена, а другая образована необработанной поверхностью бревна. Толщина горбылей составляет 20–50 мм и возрастает от вершины к комлю. Она зависит от сбежистости и длины пиловочных бревен. Ширина горбылей изменяется от 80 до 130 мм, длина от 3,0 до 6,5 м. Они, как правило, короче выпиленных досок. Количество горбылей зависит от метода раскроя, диаметра и сбега бревен, правильности расчета поставов, сортировки бревен по смежным диаметрам и составляет от 6 до 10% исходного сырья.

*Рейки* образуются при обрезке и раскросе пиломатериалов по ширине. Толщина реек всегда соответствует толщине выпиленных пиломатериалов и составляет 25–100 мм. Ширина реек изменяется от 35 до 100 мм, а длина от 2,0 до 6,5 м. Объем реек также значителен и составляет от 7 до 14% исходного сырья.

Горбыли и рейки из заболонной части пиловочных бревен содержат сравнительно небольшое число пороков и по качеству древесины являются наилучшим сырьем для получения высококачественной щепы для целлюлозно-бумажного производства. Древесина, содержащая водопроводящие каналы, хорошо пропитывается варочными щелочами, в большей мере приспособлена для удаления смолистых веществ и не образует непровара. Необходимое и важное условие использования отходов лесопиления на щепу – предварительная окорка бревен.

Уступают горбылям и рейкам по качеству *торцовые отрезки и вырезки*, получаемые при раскросе пиломатериалов по длине, опиловке торцов, удалении дефектных участков с пороками или острых концов досок. Они имеют сравнительно небольшую длину в пределах от 25 до 150 мм, толщину – от 250 мм и ширину – от 30 до 300 мм. Объем торцовых отрезков и вырезок колеблется в пределах от 2 до 4%, а в лесопилении достигает 5% исходного сырья.

К отходам лесопиления не относятся короткие доски длиной 0,3–1,0 м, однако из-за трудностей сбыта они являются дополнительным сырьем для выработки щепы. Объем коротких досок составляет 3%.

**Опилки** образуются в процессе лесопиления в объеме от 9 до 16% от распиливаемого сырья. Из-за небольших размеров древесных частиц они с большим трудом могут быть использованы в целлюлозно-бумажной промышленности. Плиты из них имеют низкие прочностные показатели. Практическое значение имеют опилки с размером более 3 мм, которые можно использовать в виде добавок к основному сырью в производстве целлюлозы, бумаги, картона. До 23% таких частиц образуется на лесопильных рамах при распиловке сосновых и еловых бревен. Опилки, получаемые при обработке пиломатериалов на круглопильных станках, имеют волокнистую структуру и значительно меньшие размеры. На обрезных и торцовочных станках количество опилок размером более 3 мм не превышает, по данным Ю. А. Пушкина, 15%.

Форма частиц древесины в опилках близка к кубической, а отношение длины к толщине (коэффициент гибкости) составляет 2,5, что препятствует их использованию в производстве плитных материалов.

Одним из эффективных направлений является получение вместо опилок технологической **стружки**, пригодной для производства плит и целлюлозы. Доказана практическая возможность получения такой стружки при продольной распиловке древесины специальными круглыми пилами. Более крупные частицы могут быть получены за счет увеличения подачи на зуб или путем приближения процесса распиловки к строганию или фрезерованию. Большие подачи определяют малое количество зубьев в пиле и значительные по объему межзубовые впадины.

Разработаны различные конструкции круглых пил с групповыми и коническими зубьями для продольной распиловки с попутной и встречной подачей. Получаемые частицы имеют форму длиноволокнистых стружек длиной от 7 до 14 мм и толщиной 0,3–0,5 мм. Экспериментально доказана возможность использования таких частиц для производства древесностружечных и древесноволокнистых плит, бисульфитных целлюлоз.

**Карандаши** – часть фанерного чурака, остающаяся после лущения шпона. **Шпон-рванина** – куски шпона, образующиеся в процессе лущения, сушки, сортировки и раскроя шпона на соломку. **Отструг** – часть бруса или ванчеса, остающаяся после строгания в виде досок нестандартных размеров при изготовлении строганного шпона. **Обрезки древесных плит и фанеры** – части древесных плит, фанеры, образующиеся при раскрое их в размер и не соответствующие стандартам на продукцию. **Древесная пыль** образуется при обработке древесины на шлифовальных станках.

Размерные и качественные характеристики древесных отходов являются важными критериями определения области дальнейшего их использования. В то же время необходимо учитывать, что не вся древесная биомасса может быть заготовлена с необходимым экономическим эффектом. Для того чтобы произвести оценку экономической доступности древесного сырья, должны быть выполнены следующие расчеты:

1) расчет ресурсов древесных отходов и динамики их образования в течение года. В данном случае определяются значения реального объема древесных отходов, образуемых на лесосеке или в цехах деревообработки, с учетом технических возможностей предприятия [46];

2) расчет экономически доступных древесных отходов, предусматривающий определение выполнения условия, когда предельная цена древесных отходов больше либо равна сумме нормативной стоимости их подготовки и транспортировки для дальнейшей переработки [45].

**Оформление результатов работы.** На основании визуального осмотра и обмера представленных образцов древесных отходов дать их характеристику и определить возможные направления их использования. Результаты представить в виде табл. Л1.4.

Таблица Л1.4

**Определение характеристик древесных отходов**

№ образца	Наименование	Размерные и качественные характеристики	Направления использования	Примечание

## Контрольные вопросы

1. Что относится к вторичным ресурсам в лесной и деревообрабатывающей промышленности?
2. Как классифицируется дополнительное сырье?
3. Что относится к отходам лесозаготовок?
4. Какие кусковые и мягкие отходы цехов переработки Вы знаете?
5. Назовите области использования отходов лесозаготовок и деревообработки.
6. Какие параметры и свойства древесных отходов определяют область их применения?



## Лабораторная работа № 2

### АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ЩЕПЫ

**Цель работы** – изучить размерно-качественные характеристики технологической щепы, методику проведения лабораторного анализа качества щепы.

**Оборудование и инструменты:** щепы; весы с погрешностью взвешивания не более 1 г; механический анализатор щепы марки АЛГ-М; набор контрольных сит с отверстиями диаметром 30, 20, 10, 5 мм и поддон; лупа 3–4-кратного увеличения; шаблон; раствор солей и кислот; секундомер; стакан фарфоровый или стеклянный вместимостью 500 см<sup>3</sup>; стакан из монель-металлической сетки или нержавеющей стали со сквозными отверстиями вместимостью 500 см<sup>3</sup>; пинцет; бумага фильтровальная.

**Методика выполнения:** проведение методов лабораторного анализа качества щепы в соответствии с ГОСТ 15815–83.

#### Дополнительная литература:

1. Разделы 1 и 2 теоретической части данного учебно-методического пособия.

2. Щепы технологическая. Технические условия: ГОСТ 15815–83. – Введ. 24.08.1983. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1983. – 15 с.

Требования к качеству технологической щепы регламентируются государственным стандартом ГОСТ 15815–83. В зависимости от назначения технологическую щепу изготавливают 3 марок (табл. Л2.1).

Таблица Л2.1

#### Марки и назначение технологической щепы

Марка щепы	Назначение
Ц-1	Сульфитная целлюлоза и древесная масса, предназначенные для изготовления бумаги с регламентированной сорностью
Ц-2	Сульфитная целлюлоза и древесная масса, предназначенные для изготовления бумаги и картона с нерегламентированной сорностью, сульфатная и бисульфатная целлюлоза, предназначенные для изготовления бумаги и картона с регламентируемой сорностью

Окончание табл. Л2.1

Марка щепы	Назначение
Ц-3	Сульфатная целлюлоза и различные виды полуцеллюлозы, предназначенные для изготовления бумаги и картона с нерегулируемой сорностью
ГП-1	Спирт, дрожжи, глюкоза и фурфурол
ГП-2	Пищевой кристаллический ксилит
ГП-3	Фурфурол и дрожжи при двухфазном гидролизе
ПВ	Древесноволокнистые плиты
ПС	Древесностружечные плиты

Основными факторами, определяющими качество технологической щепы, являются:

- массовая доля коры;
- массовая доля гнили;
- массовая доля остатков на ситах;
- обугленные частицы и металлические примеси;
- состав щепы по породам;
- массовая доля минеральных примесей;
- массовая доля щепы с мятыми кромками;
- угол среза.

Требования к размерно-качественным показателям технологической щепы в зависимости от марки представлены в табл. Л2.2 и Л2.3.

Таблица Л2.2

#### Размерно-качественные показатели технологической щепы

Наименование показателя	Норма для марок							
	Ц-1	Ц-2	Ц-3	ГП-1	ГП-2	ГП-3	ПВ	ПС
Размеры щепы, мм:								
– длина	15–25			5–35			10–35	10–60
– толщина, не более	5			5			5	30
Массовая доля, не более, %:								
– коры	1,0	1,5	3,0	11,0	3,0	3,0	15,0	15,0
– гнили	1,0	3,0	7,0	2,5	1,0	1,0	5,0	5,0
– минеральных примесей	Не допускается	0,3	0,3	0,5	Не допускается	0,3	1,0	0,5

Окончание табл. Л2.2

Наименование показателя	Норма для марок							
	Ц-1	Ц-2	Ц-3	ГП-1	ГП-2	ГП-3	ПВ	ПС
Массовая доля остатков на ситах с отверстиями диаметром, не более, %:								
– 30 мм	3,0	5,0	6,0	5,0	5,0	5,0	10,0	5,0
– 20 и 10 мм	86,0	84,0	81,0	90,0	90,0	94,0	79,0	85,0
– 5 мм	10,0	10,0	10,0	90,0	90,0	94,0	1,0	85,0
– на поддоне	1,0	1,0	3,0	5,0	5,0	1,0	1,0	10,0
Обугленные частицы и металлические включения, %	Не допускаются							

*Примечание.* По согласованию с потребителем для выработки целлюлозы и полуцеллюлозы, используемой в производстве картона и упаковочной бумаги с нерегламентированной сорностью, допускается изготовление щепы марки Ц-3 с содержанием коры до 10%.

Таблица Л2.3

### Требования к породному составу для производства технологической щепы

Назначение щепы	Массовая доля древесины в щепе, %			
	хвойных 100	лиственных 100	В смеси	
			хвойных	лиственных
Производство целлюлозы: – сульфитной и би-сульфитной	Ель, пихта	–	Не менее 90	Не более 10
	–	Береза, осина, тополь, ольха бук, граб	Не более 10	Не менее 90
– сульфатной	Все породы, лиственница отдельно	–	Не менее 90	Не более 10
	–	Все породы	Не более 10	Не менее 90
– нейтрально-сульфитной	Не допускается	Все породы	Не допускается	
Производство полуцеллюлозы	Все породы	–	Не менее 90	Не более 10
	–	Все породы	Не более 10	Не менее 90
Производство древесной массы	Ель, пихта	Не допускается	Не допускается	
Гидролизное производство: – дрожжевое – спиртовое	Все породы	Все породы	Допускается в любом соотношении	
	Все породы	Все породы	Не менее 70	Не более 30

Окончание табл. Л2.3

Назначение щепы	Массовая доля древесины в щепе, %			
	хвойных 100	лиственных 100	В смеси	
			хвойных	лиственных
– фурфурольное	Не допускается	Все породы	Не более 5	Не менее 95
– глюкозное	Все породы	Не допускается	Не допускается	
Производство ксилита	Не допускается	Береза, примесь осины не более 10	Не допускается	
Производство фурфуrolа и дрожжей при двухфазном гидролизе	Не допускается	Береза, бук, клен, дуб, граб, примесь осины не более 10	Не допускается	
Производство ДВП и ДСП	Все породы	Все породы	Допускается по согласованию с потребителем	

*Примечание.* Для производства бисульфитной полуцеллюлозы на магниевом основании щепа из древесины сосны изготавливается отдельно от щепы других хвойных пород. Примесь других хвойных пород в сосновой щепе не должна превышать 25%.

Наиболее существенное влияние на качественные показатели продукции, получаемой из технологической щепы, оказывают ее геометрические размеры (длина, ширина, толщина, угол среза) (рис. Л2.1), а также процентное содержание кондиционной и некондиционной (крупной и мелкой) фракции щепы.

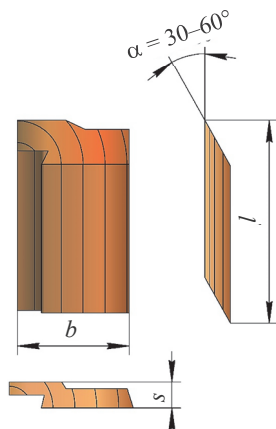


Рис. Л2.1. Геометрические параметры щепы:

$b$  – ширина, мм;  $l$  – длина, мм;  $s$  – толщина, мм;  $\alpha$  – угол среза, град

**Кондиционная фракция щепы** – совокупность древесных частиц, размеры которых соответствуют требованиям, предъявляемым к щепе в зависимости от ее дальнейшего назначения.

**Крупная фракция щепы** – совокупность древесных частиц, оставшихся на сите сортирующего устройства с наибольшим (в соответствии с требованиями) проходным сечением отверстий.

**Мелкая фракция щепы** – совокупность древесных частиц, прошедших через сито сортировочных устройств, на котором задерживается кондиционная фракция.

Размеры щепы, а также процентное содержание кондиционной и некондиционной фракций щепы во многом зависят от настроек и оптимальной работы рубительной машины. Содержание в технологической щепе коры, гнили и минеральных включений зависит от природно-производственных условий ее заготовки (таксационных характеристик, сезона и способа заготовки), а также от качества выполнения окорки и облагораживания – в случае переработки низкокачественной древесины.

**Лабораторный анализ качества** технологической щепы проводят в соответствии с указаниями ГОСТ 15815–83. **Прямосдаточные испытания** проводят по следующим показателям:

- массовая доля коры;
- массовая доля гнили;
- массовая доля остатков на ситах;
- обугленные частицы и металлические примеси.

**Периодические испытания** проводят по требованию потребителя, определяя:

- состав щепы по породам;
- массовую долю минеральных примесей;
- массовую долю щепы с мятыми кромками;
- угол среза.

При получении неудовлетворительных результатов хотя бы по одному показателю проводят повторную проверку на 20 точечных пробах.

Результаты повторной проверки распространяются на партию. Партией считают количество щепы одной марки, оформленное одним документом о качестве. Размер партии определяют по согласованию с потребителем.

Если после первичной проверки последующий отбор проб возможен, все 30 проб отбираются одновременно в начале проверки.

Учет технологической щепы производят в кубических метрах плотной массы с округлением до  $0,1 \text{ м}^3$ .

Документ о качестве технологической щепы должен содержать:

- наименование предприятия-изготовителя, его товарный знак и местонахождение;
- наименование ведомства или предприятия, в систему которого входит предприятие-изготовитель;
- марку и породу технологической щепы;
- количество щепы в плотных кубических метрах;
- результаты испытаний;
- обозначение настоящего стандарта.

Далее приводится последовательность выполнения анализа качества технологической щепы в лабораторных условиях.

**1. Отбор проб.** Для проверки качества щепы отбирают 10 точечных проб общей массой  $10 \pm 1 \text{ кг}$  из различных мест партии, равномерно расположенных по всей партии или через равные промежутки времени (в случае разгрузки щепы ленточным транспортером).

Точечные пробы массой не менее 1 кг отбирают из транспортных средств на глубине не менее 20 см от верхнего уровня щепы или через равные промежутки времени в процессе равномерной погрузки или разгрузки транспортных средств. Допускается производить отбор щепы после разгрузки на приемную площадку. Щепу на ленточном транспортере отбирают путем пересечения потока всей ширины ленты транспортера через равные промежутки времени. Точечные пробы соединяют вместе, тщательно перемешивают и методом двукратного квартования сокращают до навески массой 2,0–2,5 кг и взвешивают с погрешностью не более 5 г.

**2. Определение массовой доли коры и гнили в щепе.** Из навески выбирают частицы, полностью состоящие из коры или гнили, и щепу с частичным наличием коры и гнили. Кору и гниль отделяют от щепы, присоединяют к отобранной коре и гнили и взвешивают с погрешностью не более 1 г.

Массовую долю коры или гнили  $X$ , %, вычисляют по формуле

$$X = \frac{m_1}{m} \cdot 100, \quad (\text{Л2.1})$$

где  $m_1$  – масса коры и гнили, г;  $m$  – масса навески с корой и гнилью, г.

Результаты вычислений округляют до первого десятичного знака.

**3. Определение фракционного состава щепы.** Фракционный состав осуществляется в результате стратификации навески щепы на анализаторе гирационного типа АЛГ-М (рис. Л2.2).

В процессе анализа выделяют кондиционную, мелкую и крупную фракции. При подготовке к анализу щепу, ширина которой превышает ее длину, доизмельчают вручную.

Набор сит устанавливают на подвижном основании анализатора. Навеску щепы после отбора из нее коры и гнили высыпают на верхнее сито набора. Сита в наборе затягивают стяжками, включают анализатор и сортируют навеску в течение 1 мин. После полной остановки анализатора остатки на ситах взвешивают с погрешностью не более 1 г.

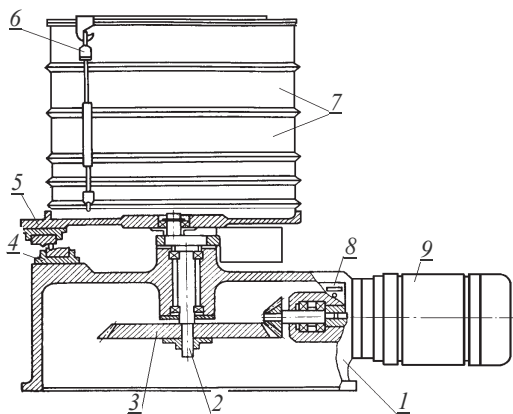


Рис. Л2.2. Схема механического анализатора АЛГ-М:

- 1 – корпус; 2 – эксцентриковый вал; 3 – коническая шестерня;  
4 – опорный подшипник; 5 – подвижное основание; 6 – стяжка; 7 – сита;  
8 – реле времени; 9 – электропривод

Массовую долю остатков на ситах  $X_i$ , %, вычисляют по формуле

$$X_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \quad (\text{Л2.2})$$

где  $m_i$  – масса остатка на одном из сит, г.;  $m$  – масса навески без коры и гнили, г.

Результаты округляют до первого десятичного знака.

**4. Определение массовой доли хвойных и лиственных пород древесины.** После испытаний по определению фракционного состава отбирают 100 г щепы, оставшейся на сите анализатора с отверстиями диаметром 10 мм. Щепу помещают в стакан из монель-металлической сетки, который устанавливают в фарфоровый стакан и заливают 1%-ным раствором марганцовокислого калия с таким расчетом, чтобы вся проба была покрыта раствором. Через 2 мин сетчатый стакан вынимают и промывают водой для удаления раствора. После этого пробу в течение 2 мин обрабатывают 12%-ным раствором соляной кислоты и снова промывают. Затем щепу обрабатывают 1%-ным раствором аммиака в течение 1 мин без промывки водой. Обработанная таким образом щепа лиственных пород приобретает пурпурно-красную окраску, а хвойных – желтую. После обработки щепу слегка отжимают фильтровальной бумагой, сортируют по цвету и взвешивают.

Массовую долю щепы лиственных пород  $X_2$ , %, вычисляют по формуле

$$X_2 = \frac{m}{m + m_1} \cdot 100, \quad (\text{Л2.3})$$

где  $m$  – масса щепы лиственных пород, г;  $m_1$  – масса щепы хвойных пород, г.

Результаты вычислений округляют до первого десятичного знака. Массовую долю щепы двойных пород  $X_3$ , %, рассчитывают по формуле

$$X_3 = 100 - X_2. \quad (\text{Л2.4})$$

**5. Определение массовой доли минеральных примесей в щепе.** Наличие минеральных примесей размером 3 мм и более в щепе определяют визуально. Из навески щепы после контроля содержания коры и гнили выбирают и взвешивают минеральные примеси указанным размером.

На втором этапе находят массовую долю мелких минеральных примесей размером менее 3 мм. Для этого берут 2 г высушенных до постоянной массы частиц щепы, прошедших через сито с отверстиями диаметром 5 мм. Взятую пробу помещают в стеклянный ци-



линдр прибора для определения содержания минеральных примесей (рис. Л2.3).

Прибор состоит из двух пластин, изготовленных из полированного стекла. Пластины крепятся к стойке 7. В верхней пластинке 2 при помощи битума закреплен стеклянный цилиндр 1, снабженный притертой пробкой. В нижней пластинке закреплена приемная воронка с краном. Щели между цилиндром, приемной воронкой и пластинами заливают парафином. Пластины плотно прижимают друг к другу болтом и гайкой 8 через медные шайбы 9. В нижней части имеется отверстие для слива суспензии из цилиндра. Суспензия сливается из цилиндра через резиновую трубку 5 с зажимом 6 в стакан для раствора с минеральными примесями 10 и в стакан для раствора с частицами щепы 3.

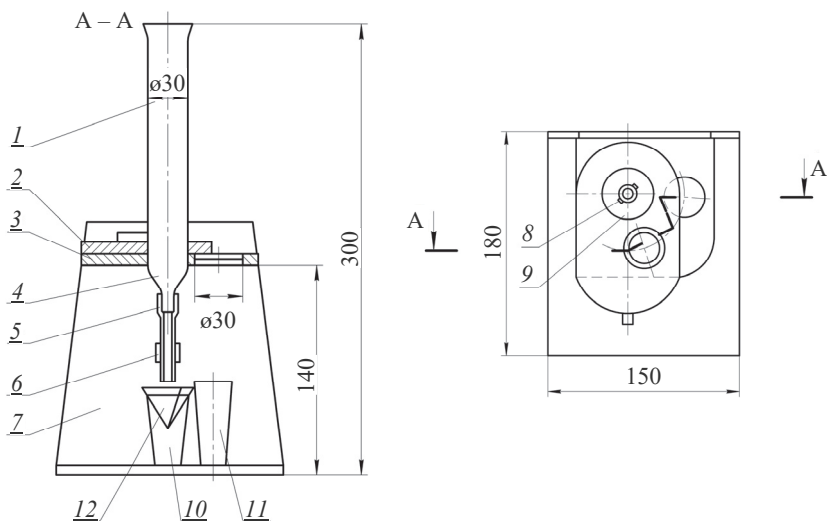


Рис. Л2.3. Прибор для определения минеральных примесей:

- 1 – цилиндр; 2 – верхняя подвижная пластина; 3 – нижняя пластина;  
 4 – приемная воронка; 5 – резиновая трубка; 6 – зажим; 7 – стойка;  
 8 – болтовое соединение; 9 – шайба; 10 – стакан для раствора  
 с минеральными примесями; 11 – стакан для раствора с частицами щепы;  
 12 – фильтр

Слив осуществляется поворотом верхней пластинки вокруг болта до совмещения цилиндра с отверстием на нижней пластине.

Перед началом работы цилиндр должен быть совмещен приемной воронкой. Предварительно в цилиндр заливают 70 см<sup>3</sup> раствора хлористого цинка или насыщенного раствора любой соли плотностью 1,4–1,6 г/см<sup>3</sup>. Содержимое цилиндра перемешивают, чтобы механически отделить прилипшие к щепе мелкие минеральные примеси. После отстаивания суспензии всплывшие частицы древесины с раствором соли сливают в один стакан, а оставшийся раствор с остатком минеральных примесей – в другой. Затем этот раствор фильтруют. Фильтр с минеральными примесями сушат до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре (105 ± 5)°С, после чего взвешивают с точностью до 0,01 г.

Массовую долю минеральных примесей  $X_4$ , %, вычисляют по формуле

$$X_4 = \frac{100 \left( m_1 + \frac{m_2 \cdot m_3}{2} \right)}{m}, \quad (\text{Л2.5})$$

где  $m_1$  – масса частиц минеральных примесей размером более 3 мм;  $m_2$  – масса минеральных примесей в 2 г остатка на поддоне, г;  $m_3$  – масса остатка на поддоне, г;  $m$  – масса навески щепы без коры и гнили, г.

Результаты вычислений округляют до первого десятичного знака.

**6. Наличие обугленных частиц и металлических включений.** Указанные частицы и включения определяют визуально.

Угол среза находят с помощью шаблонов или измерительных инструментов (рис. Л2.4).

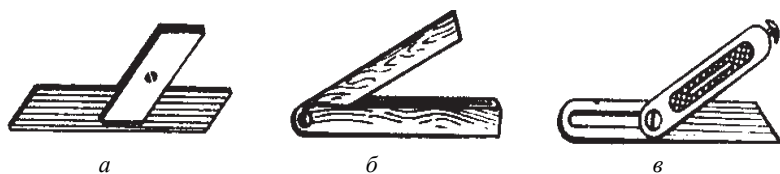


Рис. Л2.4. Инструменты для измерения угла среза:  
а – ерунок; б – деревянная малка; в – металлическая малка

### 7. Определение массовой доли щепы с мятыми кромками.

Из остатка на сите с отверстиями диаметром 20 мм отбирают пробу массой 100 г и взвешивают с погрешностью не более 1 г. Визуально

оценивают состояние кромок и производят разделение пробы на щепу с мятыми и немятыми кромками. Мятыми считают кромки, обмятые по всей ширине щепы.

Массовую долю щепы с мятыми кромками  $X_5$ , %, вычисляют по формуле

$$X_5 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot 100, \quad (\text{Л2.6})$$

где  $m_1$  – масса щепы с мятыми кромками, г;  $m_2$  – масса щепы без мятых кромок, г.

Полученные результаты вычислений округляют до целого числа.

**Оформление результатов работы.** В соответствии с приведенной выше методикой требуется осуществить лабораторный анализ качества представленных образцов щепы и определить ее характеристики. Результаты анализа должны быть представлены в виде табл. Л2.4.

Таблица Л2.4

**Результаты проверки качества партии технологической щепы**

Наименование показателя	Номер партии/пробы		
	1-1	1-2	1-3
Размеры щепы, мм:			
– длина			
– толщина			
– ширина			
Массовая доля, %:			
– коры			
– гнили			
– минеральных примесей			
Массовая доля остатков на ситах с отверстиями диаметром, %:			
– 30 мм			
– 20 и 10 мм			
– 5 мм			
– на поддоне			
Обугленные частицы и металлические включения, %			

На основании сравнения полученных результатов анализа качества пробы щепы и требований ГОСТ 15815–83 составить акт приемки продукции по качеству (приложение А).

### **Контрольные вопросы**

1. Для чего проводится анализ качества щепы?
2. Как осуществляется контроль качества щепы?
3. Что такое партия щепы?
4. Как определяется массовая доля коры и гнили в щепе?
5. Назовите этапы анализа щепы с использованием анализатора.
6. Как определяется массовая доля хвойных и лиственных пород в щепе, для чего это необходимо?
7. Какие существуют способы определения массовой доли минеральных примесей в щепе?
8. Какой инструмент используется для определения угла среза щепы?

## **Лабораторная работа № 3**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОПЛИВНОЙ ЩЕПЫ. ПОКАЗАТЕЛЬ ТЕПЛОТВОРНОЙ СПОСОБНОСТИ**

**Цель работы** – изучить основные физико-химические характеристики топливной щепы, показатель теплотворной способности и методику его определения.

**Оборудование и инструменты:** щепы, анализатор влажности щепы.

**Методика выполнения:** визуальная оценка размерных и качественных характеристик щепы, определение влажности топливной щепы сушильно-весовым методом и расчет ее теплотворной способности.

#### **Дополнительная литература:**

1. Раздел 3 теоретической части данного учебно-методического пособия.

2. Щепа: ТУ ВУ 100195503.009-2018. – Введ. 15.06.2018. – М.: Белгипролес, 2018. – 9 с.

3. Энергетическое использование древесной биомассы: заготовка, транспортировка, переработка и сжигание: учеб. пособие / авт.-сост. В. С. Сютёв [и др.]. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2014. – 123 с.

Технологии, которые используются при сжигании древесного топлива в индивидуальных котлах, региональных котельных и ТЭЦ, предусматривают различные требования в отношении физических свойств древесного топлива, то есть к ее номинальным размерам, фракционному составу, содержанию влаги, содержанию золы и примесей. В том числе это касается и топливной щепы. Согласно ТУ ВУ 100195503.009-2018, топливная щепа предназначена для генерации тепловой и электроэнергии, а также может использоваться и для плитного производства. Щепа производится из отходов, образующихся в результате лесозаготовок, лесопильного и деревообрабатывающего производства, а также путем измельчения низкотоварной древесины.

Для сжигания в котельных установках предназначается щепа длиной от 5 до 50 мм, толщиной не более 30 мм по договоренности

с потребителем. Массовая доля остатков на сите с отверстиями диаметром 50 мм – не более 30%. Массовая доля остатков может составлять более 30% по договоренности между поставщиком и потребителем в зависимости от типа котельных установок.

Содержание коры и гнили, влажность щепы, а также породный состав данным документом не нормируются, а устанавливаются в соответствии с договором поставки.

Значения качественных характеристик топливной щепы в первую очередь зависят от древесного сырья, из которого она производится. Физико-химические и теплотехнические свойства различных видов древесной биомассы имеют некоторые различия, оказывающие определенное влияние на эффективность ее использования в энергетических целях. Это делает целесообразным изучение основных характеристик различных видов древесной биомассы (см. раздел 3).

В договорах на поставку топлива (сырья), заключаемых непосредственно с поставщиками, предусматриваются конкретные положения по проведению контроля количества и качества топлива как у поставщика, так и у потребителя, порядок формирования цены и расчетов между поставщиками и потребителями, необходимость наличия документов, удостоверяющих качество приобретаемого топлива, технические требования и т. д.

На энергообъектах осуществляется контроль количества поступающего топлива и сырья и постоянный контроль качества каждой поступающей партии топлива и сырья. Под **партией топлива или сырья** понимается его количество, оформленное одним товарно-транспортным документом.

Приемка топливной щепы осуществляется: по объему и массе; качеству.

Количественная приемка древесного топлива на энергообъектах осуществляется по объему и массе. Первоначальная приемка топлива производится по объему, затем определяется его масса. Приемка топлива в виде древесной щепы по объему производится в кубических метрах плотной массы с округлением до 0,1 м<sup>3</sup>. Для перевода насыпного объема щепы в плотный при перевозках автомобильным транспортом применяют следующие коэффициенты:

- 0,36 – до отправки потребителю;
- 0,40 – после перевозки на расстояние до 50 км;

– 0,42 – после перевозки на расстояние более 50 км.

Масса топливной щепы определяется методом взвешивания, для чего на энергообъектах установлены аттестованные автомобильные весы. При взвешивании определяется масса брутто, тары (транспортного средства) и далее вычисляется масса нетто.

Схема установки для взвешивания автомобильного транспорта показана на рис. ЛЗ.1.

Результаты приемки топлива (сырья) по объему и массе заносятся в ведомость учета древесного топлива, прибывшего автотранспортом и принятых по объему и массе.

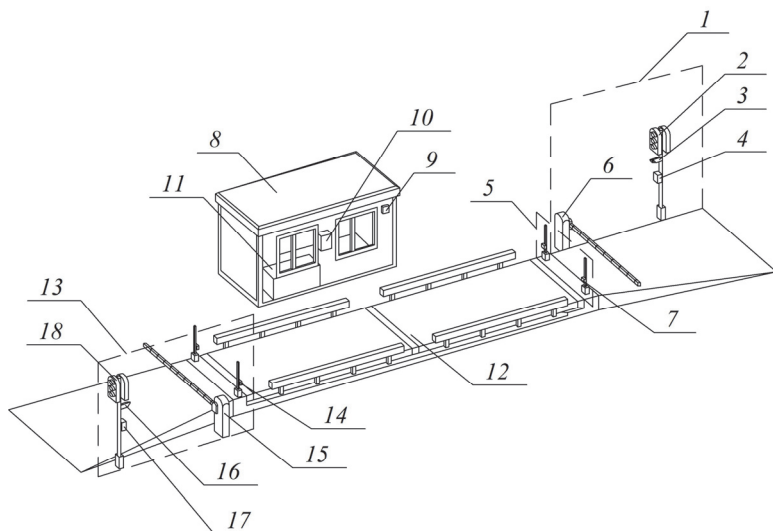


Рис. ЛЗ.1. Устройство автомобильных весов:

1 – заездной пандус; 2 – датчики положения; 3 – светофоры; 4 – видеорекамеры;  
5 – считыватели радиометок; 6 – шлагбаумы

Далее производится приемка топливной щепы по качеству. Контроль качества поступившей топливной щепы на электростанцию осуществляется путем отбора проб и их анализа. Проводится постоянный контроль относительной влажности и периодический (1 раз в неделю) контроль его зольности и теплотворной способности. Выполняется также периодический (1 раз в квартал) радиационный контроль поступившего топлива и золы сожженного топлива на соответствие действующим нормативам. При отсутствии удостоверения

радиационной безопасности топлива (сырья) от поставщика проводится радиационный контроль каждой партии. Радиационный контроль топлива и золы осуществляется в любой аккредитованной лаборатории.

Последовательность выполнения анализа качества топливной щепы следующая.

1. *Отбор проб* производят механизированным способом и вручную.

Отбор проб топливной щепы производится из транспортных средств или из потока топлива после его выгрузки в соответствии с ГОСТ 15815–83. Для определения влажности топливной щепы отбирают 10 точечных проб из 10 мест, расположенных симметрично по поверхности сырья на глубине 0,4 м, а при толщине слоя более 2 м – на глубине 1 м. Масса точечной пробы должна составлять 0,9–1,1 кг. Точечные пробы соединяют, тщательно перемешивают и методом квартования сокращают до средней лабораторной пробы массой 1,0–1,5 кг. При выгрузке сырья механизмами (например, ленточным транспортером) точечные пробы отбирают через равные промежутки времени.

2. *Определение влажности топливной щепы* осуществляется по методике, изложенной в ГОСТ 4106–74. Влажность измеряется экспресс-методом с помощью анализаторов влажности, например типа МА фирмы Sartorius AG (Германия) или ЭВЛАС-2М (Россия) (рис. Л3.2).



Рис. Л3.2. Анализатор влажности «Эвлас-2М»



Анализатор влажности «Эвлас-2М» предназначен для экспрессного определения массовой доли влаги различных сыпучих материалов, в том числе и древесной щепы в лабораторных условиях. Влагомер содержит следующие основные функциональные узлы:

- микропроцессорный блок управления со взвешивающим устройством;

- сушильную камеру с нагревателем.

Технические характеристики влагомера представлены в табл. ЛЗ.1.

Продолжительность одного измерения зависит от влажности исследуемого образца и массы навески.

Таблица ЛЗ.1

**Технические характеристики анализатора влажности «Эвлас-2М»**

Наименование параметра	Значение
Диапазон измерения влажности, %	0–100
Пределы абсолютной инструментальной погрешности влагомера, %, не более	±0,2
Диапазон значений абсолютной погрешностей, результатов измерения влажности в зависимости от анализируемого материала, %	0,2–1,5
Наибольший предел взвешивания взвешивающего устройства, г	10
Пределы абсолютной погрешности взвешивания, мг, не более	±5,0
Диапазон установки температур рабочих режимов, °С	70–160
Допускаемое отклонение установки и поддержания температур рабочих режимов, °С, не более	±2
Индикация результата производится в цифровой форме с ценой наименьшего разряда цифрового отсчетного устройства, %	0,01
Масса навески для проведения анализа, г	2–10

Влагомер «Эвлас-2М» реализует термогравиметрический метод определения влажности. Этот метод основан на высушивании пробы с известной исходной массой, взвешивании остатка и вычислении относительного изменения массы. В режиме определения массовой доли влаги в сушильной камере производится высушивание навески исследуемого продукта при заданной температуре в течение заданного промежутка времени или до постоянной массы в

зависимости от заданного режима работы. Необходимые температура и продолжительность сушки обеспечиваются автоматически. По окончании процесса измерения прибор подает звуковой сигнал. Режимы сушки задаются оператором на основании рекомендаций изготовителя и используемых нормативно-технических документов.

Принцип работы анализатора следующий:

- 1) установить в анализаторе настройки для сушки топливной щепы;
- 2) поместить на весы чашу для проб и гирию 5 г. Анализатор произведет тарирование встроенных высокоточных весов;
- 3) поместить на весы исследуемый образец. Анализатор произведет измерение начального веса образца;
- 4) закрыть крышку и нажать кнопку «Старт». Анализатор начнет процесс сушки образца, на индикатор будут выводиться текущие время измерения, значение массовой доли влаги в процентах, температура в сушильной камере;
- 5) по достижении постоянного веса анализатор автоматически отключает нагрев, подается звуковой сигнал и на индикаторе отображается результат анализа: массовая доля влаги в процентах и общее время анализа.

### *3. Определение высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания.*

Количество влаги, на практике всегда присутствующей в древесном топливе, будет испаряться в течение первой стадии сгорания. Для этого используется энергия, выделяемая за счет сжигания древесины. Это означает, что количество энергии, которая на самом деле может быть использована, снижается. Теплотворная способность древесного топлива в зависимости от содержания в нем влаги может быть рассчитана по следующей формуле:

$$H_{n,v} = H_n \cdot \frac{100 - F}{100} - \frac{2,442 \cdot F}{100}, \text{ ГДж/т}, \quad (\text{ЛЗ.1})$$

где  $H_{n,v}$  – низшая теплота сгорания влажной древесины, ГДж/т;  $H_n$  – низшая теплота сгорания сухой древесины, ГДж/т;  $F$  – содержание влаги от общего веса древесины, %; 2,442 – теплота испарения воды при 25°C, ГДж/т.

При заявленном значении теплоты сгорания топлива принимают во внимание следующие особенности:

– приведенное значение теплоты сгорания является высшей теплотой сгорания, низшей теплотой сгорания сухой древесины или низшей теплотой сгорания мокрой древесины;

– необходимо обращать внимание на то, что термин «фактическая теплота сгорания» иногда используется вместо низшей теплоты сгорания для сырой древесины;

– в случае низшей теплоты сгорания топлива должно быть указано содержание влаги; при этом следует обращать внимание на содержание влаги относительно общего веса ( $F$ ) или сухого вещества ( $U$ );

– следует обратить внимание на то, что низшая теплота сгорания топлива при заданном содержании влаги получена в пересчете на сухую массу вещества или на общую массу вещества, а также с учетом плотного или складочного объема топливной щепы.

Низшая теплота сгорания вычисляется в соответствии с вышеупомянутой формулой, которую можно преобразовать так:

– применительно к щепе, состоящей, прежде всего, из сосны, ели и березы:

$$H_{n,v} = 19,2 - 0,2164 \cdot F, \text{ ГДж/т}, \quad (\text{ЛЗ.2})$$

где  $F$  – содержание влаги от общего веса щепы, %;

– применительно к щепе смешанных пород, состоящих главным образом из древесины твердолиственных пород произвольной смеси:

$$H_{n,v} = 19,0 - 0,2144 \cdot F, \text{ ГДж/т}, \quad (\text{ЛЗ.3})$$

где  $F$  – содержание влаги от общего веса щепы, %.

Для определения теплоты сгорания партии щепы в начале определяется низшая теплота сгорания ( $H_{n,v}$ ) с помощью формул (ЛЗ.2)–(ЛЗ.4). Далее вес щепы в тоннах умножается на величину низшей теплоты сгорания ( $H_{n,v}$ , ГДж/т).

С учетом того, что теплотворная способность сухой древесины в тепловых расчетах котлоагрегатов принимается 18,7 ГДж/т независимо от ее породы [47], теплотворная способность влажного топлива путем преобразования известных формул пересчета калорийности топлива с одной влажности на другую [48] будет составлять

$$Q_{\text{вес}} = 18,7 - 0,212 \cdot W_t^r, \quad (\text{ЛЗ.4})$$

где  $Q_{\text{вес}}$  – теплотворная способность влажного топлива (сырья), ГДж/т;  $W_t^r$  – относительная влажность топлива (сырья) по результатам химанализа, %.

**Порядок расчетов с поставщиками за топливную щепу.** Результаты анализа проб топливной щепы отображаются в квитанции-счете к приемо-сдаточному акту и используются для расчета с поставщиками и в претензионной работе.

Расчет с поставщиками топливной щепы производится согласно договорам поставки с учетом качества поставляемого топлива (влажности, зольности, энергетической ценности древесины). Исходя из сложившейся практики приемки и оплаты древесного топлива за рубежом, в качестве основного варианта расчета с поставщиками в договоре поставки предусматривается оплата с учетом энергетической ценности поступившего на электростанцию топлива в зависимости от его фактической влажности.

Устанавливается договорная цена за тонну условного топлива с теплотворной способностью по 29,31 ГДж/т.

Фактическая цена 1 т натурального топлива с влажностью  $W_t^r$

$$Ц_{\text{вл}} = Ц_{\text{усл}} \cdot Q_{\text{вес}} / 29,31, \quad (\text{ЛЗ.5})$$

где  $Ц_{\text{усл}}$  – цена 1 т условного топлива согласно договору, руб./т у. т.;  $Q_{\text{вес}}$  – энергетическая ценность прибывшей на электростанцию топливной щепы, ГДж/т.

Согласно принятой в организациях Минлесхоза системе учета древесного топлива в метрах кубических, производится перерасчет цены за 1 складочный (насыпной) или 1 плотный метр кубический топлива, поступившего с влажностью  $W_t^r$ , по следующим формулам:

$$Ц_{\text{ск}} = Ц_{\text{вл}} \cdot G_{\text{нет}} / V_{\text{ск}}; \quad (\text{ЛЗ.6})$$

$$Ц_{\text{пл}} = Ц_{\text{вл}} \cdot G_{\text{нет}} / V_{\text{пл}}, \quad (\text{ЛЗ.7})$$

где  $Ц_{\text{ск}}$  – цена 1 складочного (насыпного) метра кубического натурального топлива при фактической влажности, руб./скл. м<sup>3</sup>;  $Ц_{\text{пл}}$  – цена 1 плотного метра кубического натурального топлива при фактической влажности, руб./пл. м<sup>3</sup>;  $G_{\text{нет}}$  – фактическая масса поступившей топливной щепы, т;  $V_{\text{ск}}$  – фактический объем поступившей топливной щепы в складочных (насыпных) метрах кубических.

Суммарная стоимость приобретенной топливной щепы

$$C = C_{\text{пл}} \cdot V_{\text{пл}}, \text{ руб./т.} \quad (\text{ЛЗ.8})$$

Расчет стоимости топливной щепы отражается в квитанции-счете для расчетов с поставщиками.

**Задание и оформление результатов работы.** 1. Привести расчет энергетической ценности топливной щепы по формуле (ЛЗ.4). Поварьировать параметр низшей теплоты сгорания топливной щепы при влажности 15, 25, 30, 35, 40 и 60%. Построить график.

2. Заполнить квитанцию – счет к приемсдаточному акту (приложение 2) в соответствии с заданными исходными данными (табл. ЛЗ.2).

Таблица ЛЗ.2

**Исходные данные для выполнения задания**

№ в-та	Влажность пробы топливной щепы, %	Цена 1 т у. т. с калорийностью 29,31 ГДж/т, руб./т у. т.	№ в-та	Влажность пробы топливной щепы, %	Цена 1 т у. т. с калорийностью 29,31 ГДж/т, руб./т. у. т.
1	25	50,00	11	35	65,00
2	30	55,00	12	40	72,30
3	35	60,00	13	45	76,55
4	40	65,00	14	50	65,00
5	45	70,00	15	55	64,30
6	50	75,00	16	60	57,80
7	55	80,00	17	25	59,65
8	60	57,50	18	30	78,20
9	25	59,30	19	35	63,80
10	30	62,40	20	40	55,80

*Примечания:* 1. Марка автощеповоза принимается самостоятельно. На основании принятого автощеповоза находятся его масса, грузоподъемность, полная (снаряженная) масса. 2. Ставка НДС составляет 20%.

## Контрольные вопросы

1. Какие показатели характеризуют теплотехнические свойства древесного топлива?

2. Какую часть древесной биомассы наиболее эффективно использовать в энергетических целях?
3. Что такое элементный состав древесного топлива?
4. Дайте характеристику рабочей, сухой и горючей массе топлива.
5. Что такое теплотворная способность топлива?
6. Перечислите этапы определения теплотворной способности при приемке топливной щепы.
7. По каким параметрам может осуществляется приемка топливной щепы на энергообъектах?

## **Лабораторная работа № 4 ВНУТРИЗАВОДСКОЙ ТРАНСПОРТ ШЕПЫ. ПЕРЕВОЗКА, СОРТИРОВКА И ХРАНЕНИЕ**

**Цель работы** – изучить оборудование, применяемое для транспортировки щепы на территории склада и цеха, перевозки, сортировки щепы, способы и условия ее хранения.

**Оборудование и инструменты:** раздаточный материал, макеты образцов оборудования, сортировочная гирационная установка.

**Методика выполнения:** изучение параметров и конструкции машин и оборудования с использованием макетных образцов и проспектов производителей.

### **Дополнительная литература:**

1. Федоренчик, А. С. Комплексное использование древесного сырья: тексты лекций. – Минск: БГТУ, 2013. – 88 с.

2. Головков, С. И. Энергетическое использование древесных отходов / С. И. Головков, И. Ф. Коперин, В. И. Найденов. – М.: Лесная пром-сть, 1987. – 224 с.

### **Задание 1. Внутрискладской транспорт щепы**

Важным звеном современного производственного процесса по выработке измельченного древесного сырья являются внутрискладские транспортные и погрузочные операции, от успешного выполнения которых в значительной степени зависит экономическая эффективность всего производства.

Межцеховые транспортные и погрузочные средства должны обеспечивать:

– надежное круглогодичное перемещение щепы, измельченной коры и древесины в виде дробленки, опилок и стружки влажностью до 80–100% в объемах от 10 до 250 пл. м<sup>3</sup>/ч на расстояние до 1,5 км при полной автоматизации процесса;

– совмещение процесса горизонтального перемещения щепы с подъемом или опусканием на 50–70 м и последующую непосредственную подачу щепы в силосы, варочные котлы или в транспортные емкости (вагон-щеповоз, судно);

– полуавтоматическую раздельную по породам и поочередную по направлению подачу щепы, измельченной коры и древесины различным потребителям и при производственной необходимости

подачу этих материалов к местам промежуточного хранения или отгрузки;

- погрузку щепы в транспортные емкости с равномерным ее распределением по всей площади;

- хорошую вписываемость в общий технологический поток биржи или лесного склада при минимальном габарите транспортного и погрузочного оборудования;

- поточность подачи материала без потерь и снижения качества;

- автоматический учет материала, перемещенного различным потребителям;

- выполнение современных требований инженерной эстетики, правил техники безопасности и промышленной санитарии;

- минимальные капиталовложения и эксплуатационные расходы.

Помимо вышеперечисленного внутрискладской транспорт должен обеспечить:

- высокую экономичность процесса перемещения;

- сохранение формы, размеров и фракционного состава частиц;

- надежное перемещение щепы независимо от времени года;

- перемещение щепы по территории нижнего склада с учетом расположения действующего технологического оборудования;

- раздельную подачу щепы по породно-качественному составу на склад или отгрузку.

Для перемещения измельченной древесины между складами и цехами, а также из цехов щепы на склад используют механические и пневматические транспортные устройства различной производительности и конструктивного исполнения.

При выборе транспортных средств следует учитывать, что механические конвейеры наиболее эффективны при небольшом расстоянии перемещения щепы – до 70–80 м. Из них наиболее экономичными и малоэнергоемкими являются ленточные конвейеры, эффективно работающие при транспортировке щепы до 400 м. Применение пневмотранспортных установок при малом расстоянии перемещения экономически невыгодно. Их целесообразно использовать для внутрискладского или межцехового транспорта щепы на значительные расстояния – от 70–80 м до 1500 м.

Широкое распространение для перемещения щепы получили скребковые, ленточные, винтовые, реже вибрационные конвейеры.



**Скребокковые конвейеры** перемещают щепу по лотку, деревянному или обшитому листовой сталью, имеющему прямоугольное сечение (рис. Л4.1).

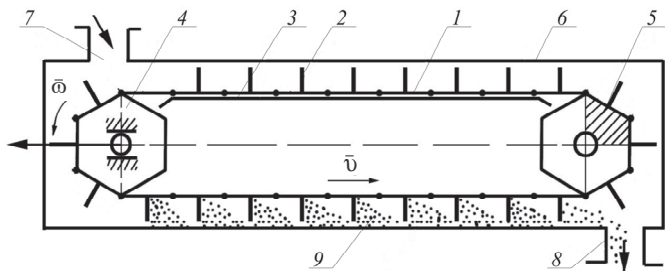


Рис. Л4.1. Скребокковый конвейер:

1 – тяговый элемент (цепь); 2 – скребок; 3 – направляющая; 4 – звездочка натяжная; 5 – звездочка приводная; 6 – кожух; 7 – загрузочный патрубок; 8 – разгрузочный патрубок; 9 – перемещаемый материал

Достоинствами скребокковых конвейеров являются простота конструкции, надежность в работе, возможность загрузки и выгрузки щепы на любом участке трассы. Основные недостатки скребокковых конвейеров связаны с трением щепы о стенки лотка, что вызывает дополнительное измельчение частиц, значительный расход электроэнергии, ограничение скорости перемещения, длины и производительности конвейеров, быстрый износ лотков и тяговых цепей. Угол наклона конвейера ограничен  $30^\circ$ .

**Скребокковый конвейер ТОЦ 16-5** производительностью  $15 \text{ м}^3/\text{ч}$  перемещает щепу на расстояние 40 м со скоростью 0,5–0,8 м/с. Расстояние между скребками составляет 810 мм. Высота скребков – 83 мм, длина – 450 мм, мощность привода – 5,5 кВт.

**Скребокковый конвейер КС** перемещает щепу на расстояние от 20 до 60 м со скоростью 0,50–0,63 м/с. Производительность конвейера – от 6 до  $250 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Расстояние между скребками – 640 мм. Размеры скребков различные. Высота колеблется от 200 до 400 мм, длина – от 440 до 1200 мм. Мощность привода – 4,5–6,0 кВт [20].

**Ленточные конвейеры** перемещают щепу бесконечной резиновой лентой, движущейся по роликам или скользящей по настилу (рис. Л4.2).

Ленточные конвейеры применяются для горизонтального и наклонного (с углом к горизонту не более  $24^\circ$ ) транспортирования

мелкого древесного топлива. Загрузка ленточного конвейера мелким древесным топливом осуществляется через загрузочные воронки или специальные бункера. При подаче измельченной древесины из бункера равномерная загрузка ленты обеспечивается специальными устройствами – дозаторами.

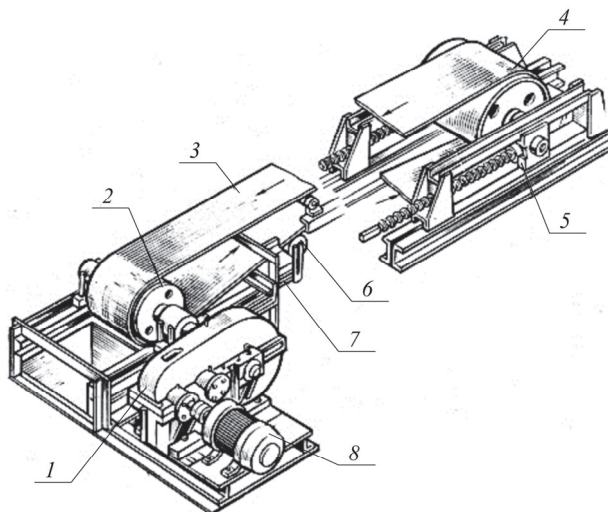


Рис. Л4.2. Ленточный конвейер:

- 1 – редуктор; 2 – приводной барабан; 3 – конвейерная лента; 4 – обводной (натяжной) барабан; 5 – натяжное устройство; 6 – роликовые опоры; 7 – рама; 8 – электродвигатель

Разгрузка ленточных транспортеров осуществляется обычно через головной ведущий барабан в конце ленты и плужковым сбрасывателем (односторонним или двусторонним) в промежуточных пунктах. Предельное значение угла наклона к оси ленты заслонки плужкового сбрасывателя –  $30\text{--}45^\circ$ . Технические характеристики ленточных стационарных конвейеров приведены в табл. Л4.1.

Наиболее важное преимущество ленточных конвейеров – сохранение целостности частиц, которые в процессе перемещения остаются неподвижными на движущейся ленте. По удельному расходу электроэнергии на перемещение щепы они в 1,5–2 раза экономичнее скребковых. Наибольший угол подъема щепы ленточными конвейерами составляет  $12^\circ$ , так как при больших углах наблюдается сползание щепы с ленты.

Таблица Л4.1

**Технические характеристики ленточных стационарных конвейеров общего назначения**

Тип конвейера	Производительность, м <sup>3</sup> /ч		Ширина ленты, мм	Длина конвейера, м	Масса, кг
	лента желобчатая	лента плоская			
КЛС-400	20–80	15–20	400	23,0	506,4
КЛС-500	40–150	30–70	500	39,0	1 225,0
КЛС-650	63–260	60–125	650	46,0	2 508,0
КЛС-600	125–510	100–340	800	49,5	4 136,0
КЛС-1000	200–800	160–500	1000	95,0	14 229,0
КЛС-1200	500–1150	360–720	1200	110,0	24 645,0
КЛС-1400	625–1560	490–980	1400	110,0	24 554,0

Для увеличения производительности конвейеров, имеющих плоскую ленту, рекомендуется устраивать лотки с вертикальными боковыми стенками из металла или древесины. Между боковыми стенками и лентой устанавливают защитные клапаны из прорезиненной ленты или войлока, которые препятствуют попаданию частиц под несущую ленту.

**Винтовые конвейеры, или шнеки,** перемещают щепу на расстояние до 30–40 м горизонтально или наклонно под углом не более 15–20°. Рабочим органом конвейера является винт, при вращении которого щепа перемещается скольжением вдоль желоба круглого сечения (рис. Л4.3).

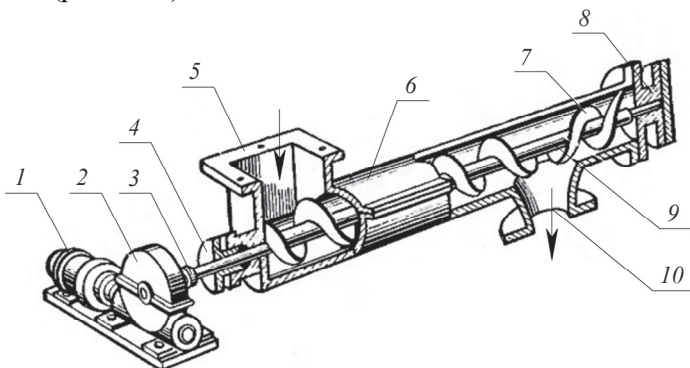


Рис. Л4.3. Винтовой (шнековый) конвейер:

- 1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – муфта; 4 и 8 – подшипники;  
 5 – загрузочная воронка; 6 – корпус; 7 – лопасти; 9 – вал;  
 10 – разгрузочный люк (патрубок)

Поскольку винт конвейера находится в закрытом желобе, транспортируемый материал изолирован от окружающей среды. Это снижает потери материала и предупреждает распространение в окружающую среду пыли. Технические параметры винтовых конвейеров приведены в табл. Л4.2.

Таблица Л4.2

**Основные параметры винтовых конвейеров общего назначения**

Тип конвейера	Диаметр винта, мм	Шаг винта, мм	Частота вращения винта, мин <sup>-1</sup>	Степень заполнения	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Масса, 1 пог. м/кг
КВС-2016	200	160	60,0	0,30	5,4	97,0
КВС-3225	320	250	60,	0,30	21,0	106,0
КВС-4032	400	320	37,5	0,30	28,0	140,0
КВС-5040	500	400	37,5	0,30	48,0	160,0
КВС-2016М	200	160	75,0	0,40	9,0	54,0
КВС-3225М	320	250	75,0	0,40	36,2	78,5
КВС-7032М	400	320	75,0	0,40	72,3	116,0
КВС-5040	500	400	75,0	0,32	113,0	142,0

Загрузка конвейера щепой осуществляется через специальные воронки. Выгрузка щепы производится через отверстия в днище желоба. Общий недостаток винтовых конвейеров – дополнительное измельчение щепы в процессе перемещения. Винтовые конвейеры часто используют для перемещения щепы между станками и дозированной подачи ее на сортировку, в систему учета, трубопровод пневмотранспортной установки. В последнем случае применяют короткие консольные шнеки с переменным шагом винта. При этом в желобе между шнеком и выгрузочным окном создается герметичная пробка из частиц древесины, которая предупреждает выброс воздуха через загрузочное устройство.

**Пневмотранспортные установки.** В деревообрабатывающей промышленности пневматические установки используются для транспортирования древесины в виде щепы, технологической стружки и отходов, получаемых при ее обработке (стружки, опилок, пыли), главным образом для пневматической доставки в места сбора и кратковременного хранения.

На предприятиях целлюлозно-бумажных, лесохимических, по производству древесностружечных и древесноволокнистых плит применяется магистральный пневмотранспорт измельченной древесины для перемещения щепы, коры и древесных отходов между предприятиями и цехами на расстояние от 50 до 1500 м. Обычная производительность пневмотранспортных установок – несколько десятков тонн в час. В некоторых случаях – до 100 т/ч и более.

К преимуществам установок пневмотранспорта относятся: герметичность системы; отсутствие потерь перемещаемых грузов; предохранение их от влияния внешней среды; возможность перемещения грузов по сложной трассе с горизонтальными, наклонными и вертикальными участками; сосредоточенность машинного оборудования в одном месте, что исключает уход за установкой по всей трассе; приспособляемость к сложным местным условиям зданий и сооружений; перемещение грузов из нескольких мест в одно или из одного места в несколько, а также сочетание перемещения груза с технологическими процессами; транспортирование без участия человека.

К основным недостаткам пневмотранспорта можно отнести следующие: высокий удельный расход энергии (из-за сравнительно низкого КПД вентиляторов и уноса тепла из помещения вместе с рабочим воздухом приходится дополнительно расходовать энергию на отопление); интенсивный износ трубопроводов (особенно в местах поворотов); невозможность транспортирования грузов размером свыше 80 мм; невозможность транспортирования влажных и липких материалов; сложность отделения пылевидных материалов от потока воздуха в конце транспортирования. На рис. Л4.4 приведены основные схемы пневмотранспортных установок.

Пневмотранспортные установки состоят из приемных устройств, материалопроводов, центробежных или объемных отделителей, пылеотделителей, воздуходувной машины или вакуум-насоса, шлюзовых затворов, воздухопроводов.

На рис. Л4.4, *a* показана всасывающая пневмотранспортная установка, в которую входят сопло 1, материалопровод 2, отделитель 3, циклон 4, шлюзовой затвор 5, вакуум-насос 6.

Приемное устройство представляет собой прямое или угловое сопло (во всасывающих установках) либо шиловый затвор (в нагнетательных системах). Материалопроводы изготавливаются из стальных труб в виде звеньев длиной 4 м, собираемых на фланцах или муфтах. Воздухопроводы из листовой стали толщиной 0,55–1,00 мм могут быть круглыми или прямоугольными. Длина одного звена воздухопровода – 2,8 м. Подача щепы в трубопровод осуществляется специальным дозирующим устройством или питателем.

Пневмоустановки получили широкое распространение в лесной промышленности и на предприятиях, перерабатывающих щепу. Они могут быть рассчитаны практически на любую производительность, которая необходима. Они перемещают щепу под любым углом в плане и профиле трассы, могут осуществлять вертикальный подъем щепы и работать в «плавающем» режиме. Технологическая привязка цехов щепы на нижних складах упрощается, когда трубопровод можно проложить среди действующих потоков сырья. Однако при выборе пневмотранспортных установок щепы следует учитывать их недостатки: неэффективность работы при небольшом расстоянии транспортировки; значительные удельные энергозатраты; дополнительное измельчение щепы в скоростном потоке аэросмеси; высокий уровень шума.

При правильном проектировании, монтаже и эксплуатации установок влияние этих недостатков можно уменьшить. Для сохранения качества щепы недопустимы высокие скорости потоков аэросмеси. Рекомендуемая скорость движения щепы в аэросмеси составляет 22–27 м/с для трубопроводов диаметром 200–350 мм и 28–34 м/с – для трубопроводов диаметром 360–600 мм. Скорость потока в трубопроводах постепенно возрастает к концу трассы. Аэродинамическое сопротивление вызывает падение давления воздуха и снижение его плотности. Поскольку расход массы воздуха в трубопроводе постоянен, снижение плотности автоматически вызывает увеличение скорости. Для сохранения качества щепы важно обеспечить на всем протяжении пневмотрассы постоянство скорости аэросмеси. Оно достигается постепенным, ступенчатым увеличением диаметра трубопровода [19].

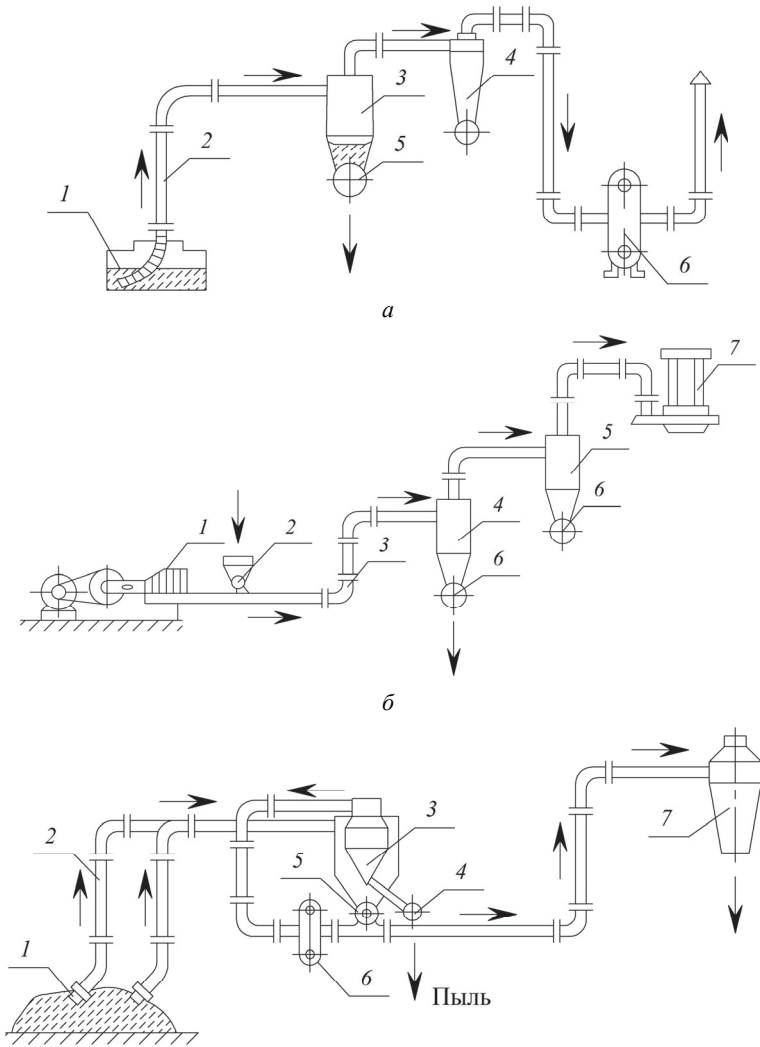


Рис. Л4.4. Основные схемы пневмотранспортной установки:  
*a* – всасывающая установка: 1 – сопло; 2 – материалопровод; 3 – отделитель; 4 – циклон; 5 – шлюзовый затвор; б – вакуум-насос; б – нагнетательная установка: 1 – воздуходувка; 2 – питатель; 3 – материалопровод; 4 – отделитель; 5 – циклон; б – шлюзовый затвор; 7 – фильтр; в – пневмотранспортная установка смешанного типа: 1 – сопло; 2 – материалопровод; 3 – отделитель; 4, 5 – шлюзовые затворы; б – воздуходувка; 7 – разгрузитель

Щепа повреждается и растрескивается при перемещении в различных элементах пневмотрасс, но особенно значительно при изменении направления движения. На поворотах происходит удар щепы о стенки трубопровода. При этом возможно смятие кромок торцов, разрушение частиц по наиболее слабому направлению в древесине – вдоль волокон, образование трещин и спичек. Количество растрескавшейся щепы зависит от угла встречи со стенкой и наиболее интенсивно возрастает (от 8 до 23%), когда угол встречи изменяется от 45 до 90°. Породный состав щепы, физико-механические свойства древесины и отрицательная температура среды оказывают влияние на дополнительное измельчение частиц.

Несмотря на отмеченные недостатки, пневмотранспортные установки благодаря их надежности, высокой степени механизации и автоматизации работ нашли широкое применение в промышленности.

Для нагнетания воздуха в пневмотранспортных установках используют различные воздуходувные машины центробежного типа. В зависимости от создаваемого в трубопроводе давления различают низко-, средне и высоконапорные установки (соответственно ПНТУ-2М; ВО-59 и ЛТ-67; ВП-1, ВП-3М и ВП-5).

В состав пневмотранспортной установки ПНТУ-2М (рис. Л4.5) входят центробежный вентилятор 2 с всасывающей трубой 1, шлюзовой питатель 3, нагнетательный трубопровод 4, переключатель 5 трубопровода к отводам. При работе установки кондиционная фракция частиц сыпается в воронку питателя.

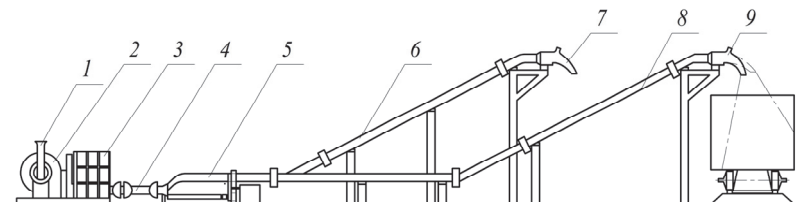


Рис. Л4.5. Пневмотранспортная установка ПНТУ-2М

В нагнетательном трубопроводе она увлекается потоком воздуха и перемещается в виде аэросмеси. Подача щепы на склад или щеповоз осуществляется по отводам 6 и 5, которые могут попеременно подключаться к трубопроводу 4 с помощью позиционного



переключателя 5. Отвод трубопровода 6 заканчивается стационарно закрепленной насадкой 7, которая предназначена для направленной подачи щепы на склад кучевого хранения. Погрузочный отвод 8 оборудован приводным дефлектором 9, совершающим возвратно-поступательные движения в пределах 0–60°. Благодаря этому выходное сопло равномерно загружает щеповоз в поперечном сечении. Пневмотранспортные установки ВО-59 и ЛТ-67, предназначенные для погрузки щепы в щеповозы и на речные суда, могут быть использованы и для других транспортно-переместительных операций в пределах нижнего склада.

Расход воздуха в пневмотранспортных установках регулируется шиберным устройством. При необходимости производительность установок может быть увеличена за счет более мощной воздуходувной машины. Расчеты установок проводятся по методике, изложенной в работе [46].

**Высоконапорная пневмотранспортная установка ВП-1** имеет основное оборудование, унифицированное с ПНТУ-2М. Значительная дальность транспортировки щепы и более высокая производительность достигнуты за счет применения более мощной центробежной воздуходувной машины ТВ-80-1,4. Установка предназначена не только для перемещения щепы на склад, но и непосредственно в перерабатывающий цех, для чего в ее состав входит циклон-отделитель. Аналогичное назначение имеют наиболее высокопроизводительные установки ВП-5 и ВП-3М. Отличительной особенностью их является шлюзовой питатель броскового типа с направленной подачей щепы. Установка ВП-3М включает ступенчатый трубопровод, начальная ветвь которого длиной 400 м имеет диаметр 359 мм, а конечная – 384 мм.

При загрузке щепы в трубопровод установок применяют шлюзовые питатели барабанного типа, устройство которых показано на рис. 4.6, а, б.

Питатель состоит из загрузочной воронки 1, приводного ротора 3, расположенного в корпусе 2, смесительной камеры 4 и отражающих пластин 5. Измельченная древесина через загрузочную воронку поступает в секционные ячейки ротора, который для уменьшения потерь сжатого воздуха устанавливается с зазором от корпуса в 0,3–0,5 мм. При его вращении щепка перемещается к соединительному каналу 5 (рис. 4.6, в) и сыпается в смесительную

камеру, где смешивается с нагнетаемым воздушным потоком. Привод ротора осуществляется через редуктор от электродвигателя мощностью 2,7–14,0 кВт. Устойчивая работа питателя зависит от равномерной подачи щепы по всей длине ячейки ротора без ее перегрузки по высоте лопасти. Для предупреждения заклинивания частиц между лопастями и корпусом, вследствие чего возможна остановка ротора муфтой предельного крутящего момента, коэффициент загрузки секционных ячеек щепой не должен превышать 0,5–0,7.

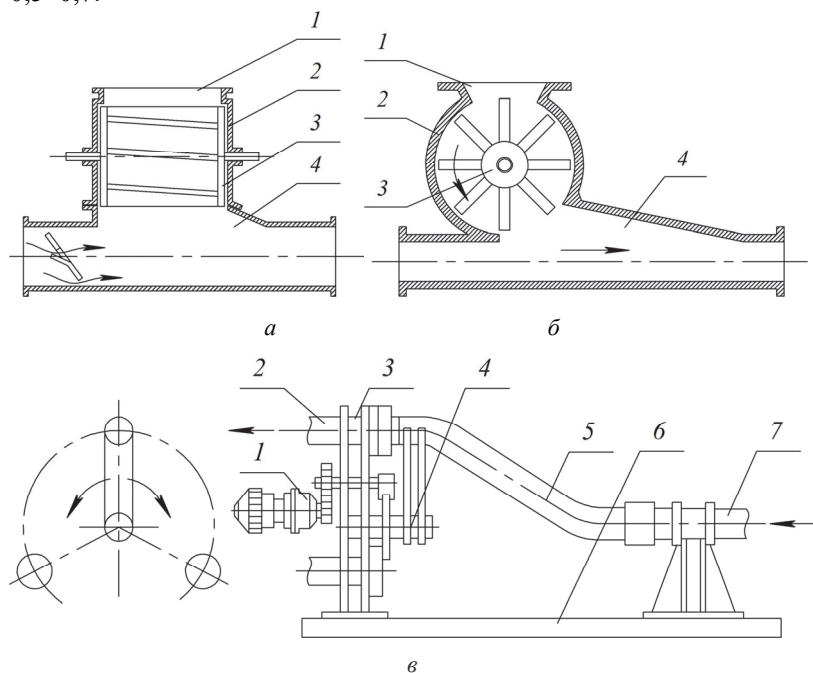


Рис. Л4.6. Устройство шлюзового питателя (а, б) и переключателя трубопровода (в)

К недостаткам барабанных питателей относят потери сжатого воздуха, примерзание ротора к корпусу, значительные гидравлические потери на разгон частиц с начальной нулевой скоростью. Эти недостатки существенно снижены в более совершенной конструкции питателя, ротор которого установлен перпендикулярно оси

трубопровода, а смесительная камера смещена по ходу движения аэросмеси (рис. Л4.6, б).

Для поочередной подачи щепы в несколько пунктов назначения одной пневмотранспортной системой используют переключатели трубопроводов. Конструкция трехпозиционного переключателя револьверного типа (рис. Л4.6, в) включает двухколенный поворотный патрубок 5, сочлененный с одной стороны с нагнетательным трубопроводом 7, с другой – с одним из трех отводных трубопроводов 2. Электромеханический привод 1 и кронштейн 4 обеспечивают продольный отжим, поворот и присоединение патрубка 5 к одному из отводов. Нагнетательный трубопровод и отводы, расположенные на вертикальном щите 3, жестко смонтированы на опорной раме 6. Управление переключателем осуществляется дистанционно и должно проводиться при обязательной остановке подачи щепы в шлюзовую питатель. При проектировании транспортной системы переключатель следует располагать таким образом, чтобы длина отводов была наименьшей.

## **Задание 2. Сортировка щепы**

При выработке технологической щепы наряду с кондиционной фракцией образуются крупные и мелкие частицы, размеры которых не соответствуют требованиям стандарта. Для удаления некондиционных частиц щепу сортируют.

Классификация сортировочных машин для щепы осуществляется по способам перемещения частиц во время сортировки, конструктивным и технологическим признакам (рис. Л4.7).

Сортировка выполняется в установках перемещением частиц щепы пневматическим (рис. Л4.7, а) или механическим (рис. Л4.7, б–е) способами. Пневматическая сортировка осуществляется в циклонах, внутри которых установлен перфорированный конус-сепаратор или на специальных установках (для разделения щепы и древесной зелени). В первом случае потоком сжатого воздуха щепы с большой скоростью подается в циклон, где под действием инерционных и центробежных сил частицы прижимаются к внутренней поверхности конуса и скользят вниз по спиральной кривой. В процессе скольжения мелкие частицы проходят через перфорации на внешнюю сторону конуса и сыпаются в выносной лоток. Крупные частицы остаются внутри конуса и через нижнее выпускное отверстие сыпаются на выносной конвейер.

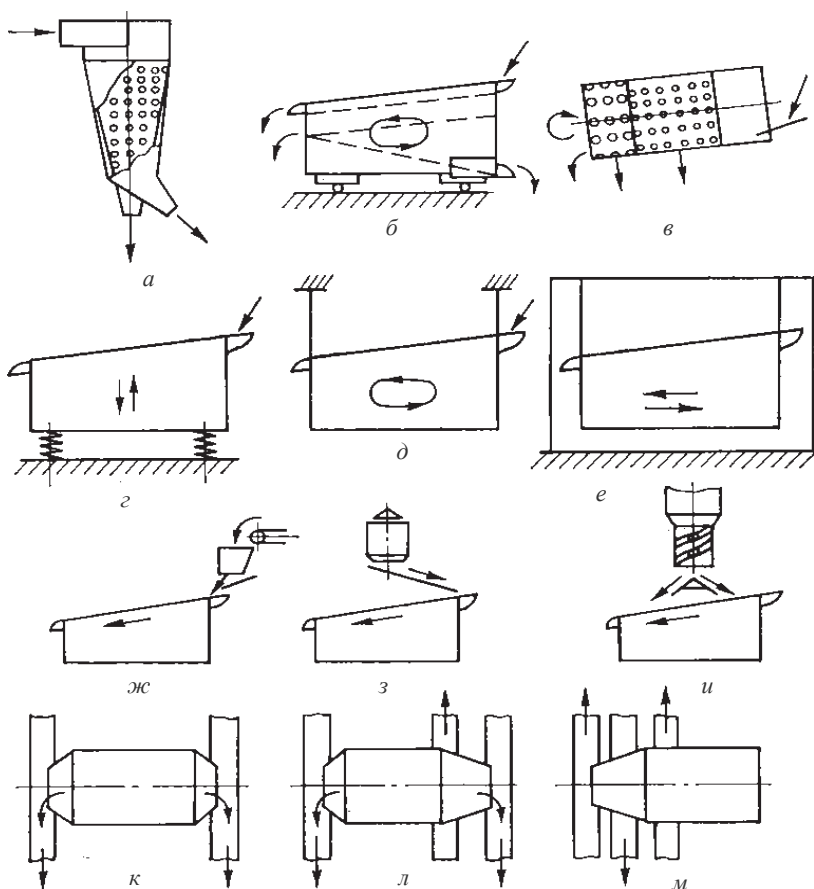


Рис. Л4.7. Классификация сортировочных установок для щепы

Сортировка выполняется в установках перемещением частиц щепы пневматическим (рис. Л4.7, *a*) или механическим (рис. Л4.7, *б–е*) способами. Пневматическая сортировка осуществляется в циклонах, внутри которых установлен перфорированный конус-сепаратор, или на специальных установках (для разделения щепы и древесной зелени). В первом случае потоком сжатого воздуха щепа с большой скоростью подается в циклон, где под действием инерционных и центробежных сил частицы прижимаются к внутренней поверхности конуса и скользят вниз по спиральной

кривой. В процессе скольжения мелкие частицы проходят через перфорации на внешнюю сторону конуса и ссыпаются к выносному лотку. Крупные частицы остаются внутри конуса и через нижнее выпускное отверстие ссыпаются на выносной конвейер.

Разделение зеленой щепы на два продукта происходит за счет различия в частицах аэродинамических и упругих свойств. Работает установка на пневмомеханическом принципе разделения измельченной древесной массы. Слой зеленой щепы дозированно ссыпается на разбрасывающий валец, который весь поток направляет на отражающий экран. Древесные частицы, как более твердые тела, отскакивают от экрана и опускаются вниз на выносной конвейер. Зелень, как аморфное тело, скользит по стенкам экрана вниз. Проходящий через сыпаемый слой поток воздуха, создаваемый вентилятором, подхватывает легкие частицы и уносит их на разные расстояния в камере сепарации, имеющей длину 4 м. Более легкие частицы (древесная зелень) уносятся вдаль камеры и оседают на выносной ленточный конвейер. Неразделившаяся смесь (зеленая щепка) оседает в центре камеры на ленточный конвейер и подается на повторное разделение. При пневматической сортировке скорость движения частиц достигает 27–40 м/с и может вызвать дополнительное измельчение щепы. Сложность разделения частиц на три фракции в одном устройстве также ограничивает использование пневмосортировочных установок щепы.

При сортировке щепы наиболее широко применяют механическое перемещение частиц в ситовых устройствах, которые подвергаются вращательному движению или колебаниям в горизонтальной или вертикальной плоскостях. Различают гирационные, барабанные и вибрационные сортировочные машины.

В гирационных сортировочных машинах (рис. Л4.7, б, д) щепка совершает круговые колебания в горизонтальной плоскости. Это обеспечивает равномерное послойное распределение частиц параллельно горизонтальной поверхности сита и наиболее высокое качество сортировки. Конструкции машин могут быть в напольном и подвесном исполнении. Гиационные машины меньше засоряются, просты, надежны в работе и получили самое широкое распространение в промышленности. Основной недостаток их – неполное отделение частиц крупной фракции и закупорка отверстий сит застрявшими частицами.

Более детальное устройство гирационной сортировки показано на рис. Л4.8. Рабочим органом машины являются сита 6 и 7, которые установлены в подвижном корпусе 1. Сита расположены одно над другим таким образом, чтобы щепа просеивалась и последовательно разделялась на фракции от крупной до мелкой. Под нижним ситом устанавливают поддон для сбора мелкой щепы и опилок. Массивная опорная рама 2 машины смонтирована на четырех шаровых опорах 3, которые опираются на фундамент 4. Привод машины осуществляется от электродвигателя через клиноременную передачу и эксцентриковый вал 5 с противовесом. Благодаря такому приводу и шаровым опорам корпус 1 с ситами 6 и 7 совершает круговое движение в горизонтальной плоскости с амплитудой 50–100 мм.

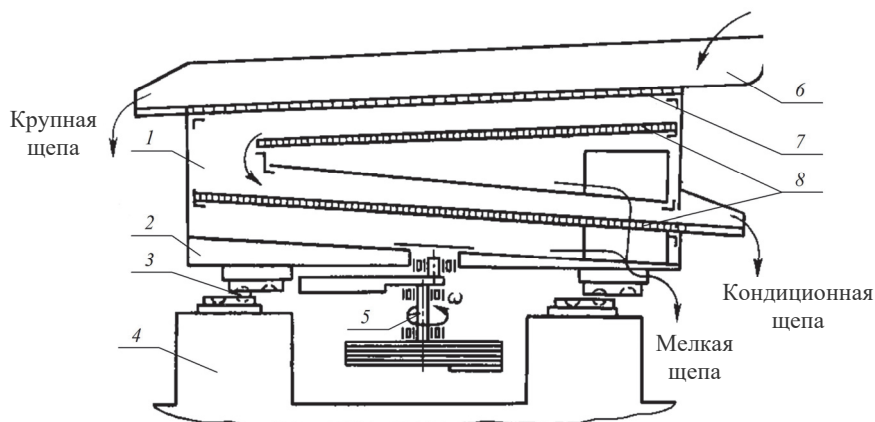


Рис. Л4.8. Схема установки для сортировки щепы

Сравнительно редки в эксплуатации барабанные сортировочные машины (рис. Л4.7, в). Основное их достоинство – способность к самоочистке, когда застрявшие частицы при повороте барабана выпадают из сит под действием веса. Недостатками барабанных машин являются сравнительно низкая производительность, приходящаяся на единицу поверхности, и низкое качество сортировки. При хаотичном перемешивании щепы во вращающемся барабане длинные нестандартные частицы могут торцами просеиваться через калиброванные отверстия и засорять кондиционную щепу.

Вибрационные сортировочные машины (рис. Л4.7, *з, е*) имеют возвратно-поступательное движение сит. Возникающая в процессе их работы вибрация частично гасится пружинными, рессорными или тросовыми подвесками. При встряхивании сит нестандартные частицы торцами могут проникать через сита и засорять кондиционную щепу. Более крупные частицы застревают в отверстиях, поэтому вибрирующие сита быстро засоряются.

Сортировка щепы по длине не дает полного представления о действительных геометрических размерах частиц. Ширина некоторых из них может быть больше длины. Такие частицы будут отбракованы как крупные. На достоверность фракционного состава оказывает влияние не только ширина, но и положение частиц в процессе сортировки. Длинные нестандартные частицы, находясь в вертикальном положении, просеиваются через сито либо застревают в ячейках. Чтобы этого не происходило, щепа своей длинной стороной должна ориентироваться параллельно плоскости сита. Необходимы равномерная подача щепы и минимальная скорость частиц. При большой скорости подачи происходят динамический удар щепы о поверхность сита, дополнительное измельчение частиц и их заклинивание в ячейках. Неравномерная подача щепы на сортировку, особенно большими порциями, способствует удержанию частиц в вертикальном положении в толстом слое. Часть кондиционных частиц не успевает просеиваться и вместе с крупными сходит в отсеv. Для снижения скорости частиц и равномерной подачи на сортировку щепы, подаваемая ленточными конвейерами, предварительно поступает в уравнительный бункер (рис. Л4.7, *ж*), а пневмотранспортом – в циклон (рис. Л4.7, *з*). Из промежуточной емкости щепы дозирующим устройством ссыпается по направляющей пластине на приемный лоток сортировочного короба. Для лучшего разравнивания и распределения щепы на поверхности, равномерного движения и схода частиц сита размещают в коробах с уклоном от 2 до 10°, а иногда – до 20° к горизонту. Разравнивание щепы улучшается в том случае, когда направляющая пластина расположена с уклоном, обратным уклону верхнего сита (рис. Л4.7, *з*).

Равномерная дозированная подача щепы на сортировку достигается различными устройствами, например вертикальным шнеком (рис. Л4.7, *и*).

Вынос рассортированной щепы от машины осуществляется конвейерами, которые располагаются под выносными лотками. Количество лотков зависит от числа фракций, на которые разделяется щепа. Когда щепа сортируется на кондиционную фракцию и отсев, имеется два лотка (рис. Л4.7, *к*). В этом случае отсев образуют крупная и мелкая некондиционные фракции.

Для увеличения выхода крупную фракцию рекомендуется после сортировки щепы направлять на доизмельчение. Тогда сортировочные машины имеют три лотка (рис. Л4.7, *л*), которые могут выходить на две или одну сторону короба (рис. Л4.7, *ж*).

Для выноса щепы используют ленточные или скребковые конвейеры, а кондиционная фракция может удаляться на склад пневмотранспортом (рис. Л4.7, *л*).

Конструкции сит по назначению подразделяются на две основные группы: плоские сита, служащие для сортировки щепы по длине (рис. Л4.9, *а, б, в*), щелевые сита – для сортировки частиц по толщине (рис. Л4.9, *г, д, е*).

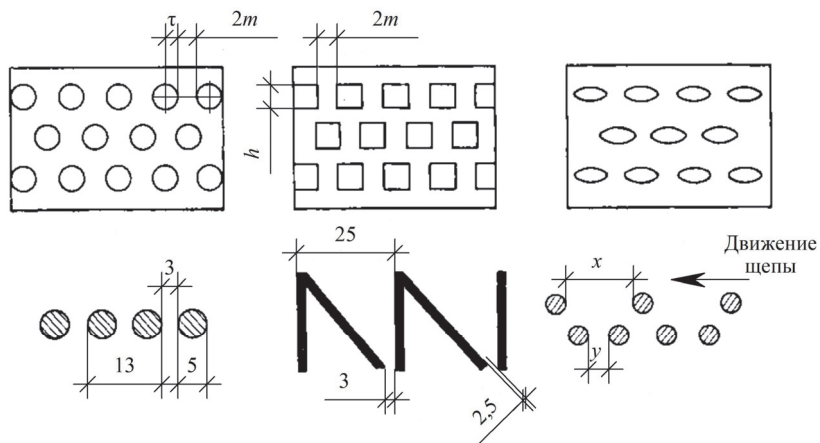


Рис. Л4.9. Конструкция сортировочных сит

Плоские сита изготовляют из металлического листа перфорированием сверху вниз. Неровные края отверстий с заусенцами способствуют опрокидыванию длинных частиц на торец и проходу их в кондиционную фракцию. Поэтому перфорированное



сито нельзя перевертывать, чтобы не ухудшать качество сортировки. Поверхность сита должна быть ровной, без перегибов и коробления, которые препятствуют равномерному рассеву частиц. Форма отверстий может быть круглой, квадратной или эллипсной. Расположение перфораций влияет на качество сортировки и производительность сита.

Для разделения щепы по толщине разработаны щелевые сортировочные устройства. Рабочие элементы таких машин выполнены из стальных стержней либо пластин, расположенных параллельными рядами. Для лучшей ориентации щепы относительно щели и просеивания частиц по толщине пластины имеют V-образное расположение (рис. Л4.9, *д*). С той же целью стержни должны иметь не однорядное расположение в одной плоскости (рис. Л4.9, *з*), а двухрядное (рис. Л4.9, *е*). В верхнем ряду расстояние ( $x$ ) между стержнями составляет 32 и 38 мм для лиственных и хвойных пород соответственно. Расстояние ( $y$ ) в нижнем ряду рекомендуется для лиственных пород 8 мм, для хвойных – 10 мм. Недостатком щелевых сортировок является возможность быстрого засорения их крупными частицами. Щепка заклинивается в щелях торцовыми срезами, сделанными под острым углом. Решением проблемы в данном случае является использование барабанных сортировок, способных к самоочистке.

Сортировочные машины для щепы, выпускаемые отечественными заводами, имеют механическое перемещение частиц и отличаются размерами и производительностью. К ним относятся напольные гирационные установки СЩ-1, СЩ-1М, СЩМ-60, СЩ-120. Сортировочные установки СЩ-1 и СЩ-1М близки по конструкции, которая схематично показана на рис. Л4.8. Верхнее сито имеет перфорации размером 35 мм. Крупные частицы задерживаются этим ситом и сходят на выносной лоток. Кондиционная щепка и мелкие частицы просеиваются через верхнее сито и поступают для разделения на следующее сито с перфорациями размером 10 мм. Верхнее и нижнее сита наклонены в разные стороны для более удобного отвода рассортированной щепы. Угол наклона сит –  $3^\circ$ . Площадь сита с мелкими отверстиями увеличена установкой дополнительного среднего сита, которое параллельно верхнему и имеет срез для свободного осыпания щепы на нижнее сито. Мелкая фракция и опилки собираются на поддоне.

Производительность установки СЩ-1 составляет 40 нас. м<sup>3</sup>/ч. Частота колебаний короба – 150 мин<sup>-1</sup>, мощность привода – 4 кВт. Производительность установки СЩ-1М увеличена до 60 нас. м<sup>3</sup>/ч. Частота колебаний короба составляет 180 мин<sup>-1</sup>, мощность привода снижена до 3 кВт. Одна из модификаций этой установки (типа СЦМ-60) имеет аналогичную конструкцию, но несколько иное, удобное для практики, расположение лотков для схода щепы. Крупная и мелкая фракции сходят по отдельным лоткам, расположенным с одной стороны установки. Лоток для кондиционной щепы располагается с противоположной стороны короба.

Более мощная сортировочная установка СЩ-120 опирается на восемь шаровых опор. В коробе размещены три плоских сита: верхнее с отверстиями размером 30 мм, среднее – 10 мм и нижнее – 6 мм. Мелкая фракция и опилки собираются на поддоне. Все сита параллельны друг другу, поэтому лотки для схода частиц и выносные транспортеры располагаются по одну сторону установки. Угол наклона сит – 2°. Производительность машины – 120 нас. м<sup>3</sup>/ч, частота колебаний короба – 150 мин<sup>-1</sup>, мощность привода – 4,5 кВт.

К недостаткам указанных установок следует отнести сложность монтажа многоопорной конструкции, трудности технического обслуживания, наладки и ремонта привода, размещенного в нижнем основании машины между опорами. Другие недостатки связаны с неравномерной загрузкой и сортировкой щепы. По мере перемещения щепы по ситы от загрузочного до выгрузочного лотка наблюдается неравномерное просеивание частиц. Наиболее интенсивно этот процесс осуществляется на участке сита вблизи загрузочного лотка. С удалением частиц от лотка эффективность использования сита все более снижается.

Шведской фирмой КМВ разработана гирационная установка СЦЛ (рис. Л4.10, а), которая лишена указанных недостатков. Подвижной короб 3 такой установки, имеющий форму шести- или восьмигранной призмы, подвешен на тросах 13 к неподвижной опорной раме. Привод 1 с противовесом 2 расположен в верхней части короба, который разделен вертикальными стенками на шесть или восемь секторов. Каждый сектор состоит из верхней направляющей пластины 4, двух сит 5, 6 и поддона 7.

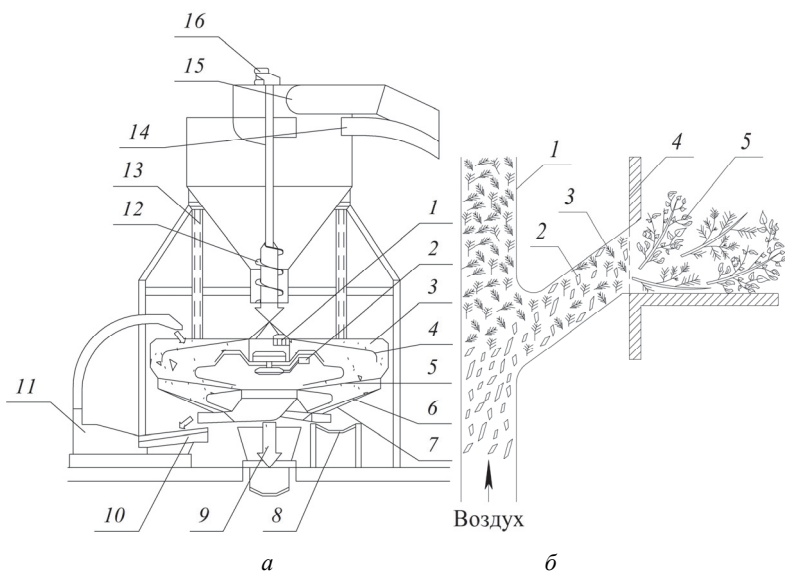


Рис. Л4.10. Схема сортировочных установок для щепы СЦЛ и ИПС-1

Щепа подается пневмотранспортом через трубопровод 14 в уравнительный бункер, расположенный над коробом. Частицы щепы из аэросмеси опускаются на дно бункера, а воздух возвращается через трубопровод 15. В основании бункера смонтирован вертикальный шнековый дозатор 12 с приводом 16, который обеспечивает равномерную подачу щепы на сортировку. Направляющие пластины 4, расположенные с уклоном от центра короба, обеспечивают перемещение щепы к основанию сегментов и далее на верхнее сито 5. Установленное с уклоном к центру сито обеспечивает равномерное отделение крупной фракции, которая через боковой лоток 10 направляется на доизмельчение в рубительную машину 11. Нижнее сито с уклоном к центру обеспечивает разделение щепы на кондиционную и мелкую фракции. Важное преимущество такой сортировки в том, что по мере просеивания щепы пропорционально уменьшается и площадь сегментного сита. Это обеспечивает компактность машины. Кондиционная щепа выносится через нижнее отверстие в центре короба и поступает в питатель 9 пневмотранспортной установки. Мелкая фракция через боковой лоток перемещается на выносной конвейер 8.

Определенные трудности представляет сортировка зеленой щепы. В ее составе находятся крупные частицы несколько необычной для щепы формы. Из такой щепы трудно отделить на плоских ситах хвойную лапку, длинные обрубки веток, рогатки, отщепы древесины и куски коры. Разработана специальная установка для сортировки зеленой щепы, рабочим органом которой являются вращающиеся зубчатые диски с определенным зазором, выполняющим роль калибра. Они насажены в шахматном порядке на горизонтальные валы, которые максимально сближены и вращаются в одну сторону с одинаковой скоростью. Подача щепы осуществляется специальным питателем, который обеспечивает ориентацию крупных частиц в горизонтальной плоскости перпендикулярно направлению движения. На первой секции установки эти частицы отделяются, а оставшаяся щепа проходит между широкими дисками и подается на вторую секцию. Здесь диски имеют более узкий зазор, через который проходит только мелкая фракция. Кондиционная щепа, оставшаяся на дисках второй ступени, сходит с них на выносной конвейер. Мелкая щепа подвергается дополнительному разделению на плоском сите. Преимуществом дисковой установки является способность к самоочистке.

Разработана пневматическая установка (рис. Л4.10, б) для сортировки зеленой щепы, которая позволяет отделить древесную зелень. В серийно выпускаемом измельчителе-пневмосортировщике ИПС-1 сучья и ветви 5 подвергаются измельчению режущим механизмом 4. Полученная зеленая щепа, состоящая из смеси частиц древесины 2 и древесной зелени 3, по наклонному патрубку поступает в вертикальную сортировочную колонну 1. Здесь она подхватывается нагнетаемым потоком сжатого воздуха. Аэродинамические свойства частиц различны. Более легкая древесная зелень в виде кусточков недревесневших побегов, покрытых хвоей (на рисунке они показаны крупнее), потоком воздуха выносятся из колонны, а более тяжелые древесные частицы падают вниз на транспортер.

**Задание и оформление результатов работы.** Выполнить проект перерабатывающего цеха с указанием расположения оборудования и механизмов для уборки и выноса древесных отходов, а также их последующей переработки и хранения. Данные для выполнения задания представлены в табл. Л4.3. К разработанному

проекту привести описание принципа и последовательности работы цеха.

Таблица Л4.3

**Исходные данные для выполнения задания**

№ в-та	Тип перерабатывающего цеха	Наличие участка по измельчению кусковых отходов	Способ хранения щепы
1	Лесопильный на базе лесопильных рам	Да	Кучевой
2	Лесопильный на базе круглопильных станков	Нет	Бункерный
3	Лесопильный на базе ленточнопильных станков	Да	Кучевой
4	Производство оцилиндрованного сруба	Нет	Бункерный
5	Дрово-балансовый	Да	Кучевой
6	Тарный	Нет	Бункерный
7	Лесопильный на базе фрезерно-брусующего станка	Да	Кучевой
8	Лесопильный на базе лесопильных рам	Нет	Бункерный
9	Лесопильный на базе круглопильных станков	Да	Кучевой
10	Лесопильный на базе ленточнопильных станков	Нет	Бункерный
11	Производство оцилиндрованного сруба	Да	Кучевой
12	Дрово-балансовый	Нет	Бункерный
13	Тарный	Да	Кучевой
14	Лесопильный на базе фрезерно-брусующего станка	Нет	Бункерный
15	Лесопильный на базе лесопильных рам	Да	Кучевой
16	Лесопильный на базе круглопильных станков	Нет	Бункерный
17	Лесопильный на базе ленточнопильных станков	Да	Кучевой

Окончание табл. Л4.3

№ в-та	Тип перерабатывающего цеха	Наличие участка по измельчению кусковых отходов	Способ хранения щепы
18	Производство оцилиндрованного сруба	Нет	Бункерный
19	Дрово-балансовый	Да	Кучевой
20	Тарный	Нет	Бункерный
21	Лесопильный на базе фрезерно-брусующего станка	Да	Кучевой
22	Лесопильный на базе лесопильных рам	Нет	Бункерный
23	Лесопильный на базе круглопильных станков	Да	Кучевой
24	Лесопильный на базе ленточнопильных станков	Нет	Бункерный
25	Производство оцилиндрованного сруба	Да	Кучевой

### Задание 3. Перевозка и хранение щепы

Нередко предприятия, которые являются потребителями древесной щепы, расположены далеко от места ее производства. В этом случае необходимы специальные транспортные средства, способные перевозить этот продукт на разные расстояния. Однако не любой транспорт подойдет для перевозки щепы, стружки и других отходов деревообработки.

Для перевозки щепы используют:

- грузовые автомобили с открытым верхом (бортовые и самосвалы);
- различные прицепы и полуприцепы;
- железнодорожные вагоны;
- корабли-щеповозы.

Для перевозок щепы и сыпучей древесины на расстояние до 200 км применяется **автотранспорт**. При перевозках щепы автотранспортом и в железнодорожных вагонах щепа уплотняется примерно в 1,05–1,15 раза, а при отрицательных температурах, кроме того, и смерзается. Эти явления крайне осложняют разгрузку и требуют применения разрыхляющих механизмов.

Перевозка щепы автотранспортом предъявляет следующие требования к автомобилям:

- возможность загрузки из бункера или с ленточного транспортера;
- сохранение влажности при транспортировке;
- возможность выгрузки без привлечения техники;
- максимально возможный объем загрузки.

Многие предприятия, которые в промышленных масштабах производят щепу, грузят ее с помощью ленточных транспортеров. Погрузку могут производить как сразу в транспортное средство, так и сначала в бункер, затем из него в щеповоз. Поэтому для перевозки такого груза используют транспорт с открытым верхом, чтобы можно было использовать как бункера, так и транспортеры.

Во время перевозки щепы происходит изменение влажности из-за нагрева солнечными лучами (снижение) и осадков (увеличение). Для нейтрализации обоих видов воздействия груз накрывают толстым брезентовым полотном, которое эффективно защищает как от солнца, так и от дождей.

Еще одно требование, которое предъявляют к щеповозам, – это максимальный объем. Ведь плотность измельченной древесины невысока, поэтому нагрузка на шасси оказывается минимальной, что и позволяет увеличивать объем. Обычно для этого над бортами устанавливают деревянные ограждения, увеличивающие расстояние от пола до верха кузова, однако при этом необходимо учитывать общую высоту автомобиля, чтобы она не оказалась выше разрешенных значений. В противном случае возникнут проблемы при проезде под мостами или в тоннелях.

Автощеповозы классифицируют по конструктивным и эксплуатационным признакам. **По подвижному составу**, используемому для перевозки щепы, различают кузовные автомобили общего назначения, специальные автопоезда и автомобили с полуприцепами, прицепами и контейнерами; **по грузоподъемности** автощеповозы бывают легкие, средние и большегрузные; **по конструкции кузова** – рамные и безрамные; **по способу разгрузки** – самосвальные и саморазгружающиеся.

Кузовные автомобили общего назначения, с наращенными бортами используют как внутризаводской транспорт или для перевозки щепы на короткие расстояния. Переоборудованные кузова автосамосвалов имеют вместимость 8–13 м<sup>3</sup>.

Легкие автощеповозы имеют кузов объемом до  $30 \text{ м}^3$ , средние – до  $45 \text{ м}^3$ , тяжелые – до  $75 \text{ м}^3$ . Эффективность применения щеповозов разной вместимости зависит от расстояния и объемов перевозки, дорожно-эксплуатационных условий. Легкие и средние щеповозы рекомендуют при малом грузообороте для перевозки щепы на расстояние до 50 км, большегрузные – до 100 км и при большом грузопотоке сырья.

**Грузовые автомобили** с открытым верхом используют для перевозки небольших партий щепы ( $5\text{--}10 \text{ м}^3$ ), ведь применять для этого самосвалы с огромной грузоподъемностью бессмысленно из-за высоких эксплуатационных затрат (рис. Л4.11). Поэтому чаще всего в роли таких машин выступают ГАЗ-САЗ-35 (на шасси ГАЗ 3309) или ГАЗ-САЗ 2507 (на шасси ГАЗон Next).



Рис. Л4.11. Грузовой автомобиль для вывозки щепы

Преимущества этих автомобилей:

- невысокая цена;
- малый расход топлива;
- высокая маневренность;
- возможность везти не только груз в кузове, но и прицеп с полной массой 2–3 т.

Их используют для перевозки щепы на небольшие расстояния, обычно в границах города или района.

Максимальный объем перевозимого груза после установки дополнительных бортов на машине и прицепе составляет  $15\text{--}25 \text{ м}^3$ . Эти машины оборудуют трехсторонним самосвальным кузовом.

Для транспортировки на большее расстояние лучше подойдут КАМАЗ 65115 или МАЗ 552935, а также любые их аналоги



(рис. Л4.12). К этим машинам помимо груза в кузове можно цеплять прицеп с максимальной полной массой 10–20 т, благодаря чему за рейс они могут перевозить 40–50 м<sup>3</sup> щепы.

Однако эти параметры достижимы только **после установки дополнительных бортов**, увеличивающих высоту стен и общий объем. Без такой операции максимальный объем перевозимого груза (бортовой автомобиль и прицеп) составит 30–40 м<sup>3</sup>.



Рис. Л4.12. Большегрузные автомобили для вывозки щепы

Выгрузка происходит через откидывающиеся нижние части бортов, причем водитель самостоятельно выбирает направление откидывания и открывает эти части вручную.

**Прицепы и полуприцепы.** Прицепы **оснащают стандартной сцепкой**, поэтому их **можно прицепить к любым автомобилям**, соответствующим им по грузоподъемности. При этом размер сцепного устройства зависит от полной массы прицепа, поэтому не получится прицепить к тяжелому грузовику прицеп для легкого грузовика.

Кроме того, прицепы не всегда оборудуют самосвальным устройством. Прицепы **без гидроцилиндра** несколько **дешевле** самосвальных, но часть щепы из них **приходится выгружать вручную**.

Перевозку максимального для этого типа транспорта объема (70–90 м<sup>3</sup>) щепы обеспечивают полуприцепы, в том числе с подвижным полом (рис. Л4.13).

У этих транспортных средств есть **несколько серьезных минусов**:

- высокая цена;

– большая высота бортов над землей, из-за чего их можно наращивать лишь там, где не придется проезжать под мостами или в тоннелях;

– крайне низкая маневренность, обусловленная длиной (в среднем 12 м без учета длины тягача).



Рис. Л4.13. Прицепные составы для вывозки щепы

**Полуприцепы** нельзя прицепить к самосвалу или обычному грузовику, для их транспортировки **необходим специальный тягач с седельной сцепкой**, который невозможно использовать никаким другим способом.

Иногда для перевозки щепы используют **сочлененные автопоезда**, состоящие из полуприцепа и прицепа. Это позволяет серьезно **повысить маневренность** транспортного средства и за рейс перевозить 60–80 м<sup>3</sup> щепы.

Чтобы выгружать сыпучий груз без привлечения дополнительной техники, используют:

- откидной борт;
- гидравлический подъем одной из сторон кузова (самосвал);
- подвижной пол.

**Откидной борт** – наименее эффективное, зато максимально дешевое решение. Применяют его как на небольших прицепах, так и на самосвалах. После откидывания борта часть груза высыпается под собственным весом.

Минус в том, что оставшуюся часть щепы необходимо выгружать другими способами.

**Самосвальный подъем.** Гидравлический подъем применяют на большинстве машин, предназначенных для перевозки сыпучих грузов (рис. Л4.14). Он увеличивает стоимость автомобиля, но делает его более эффективным и универсальным.



Рис. Л4.14. Самосвальный подъем

Основным минусом такого способа выгрузки является сильное увеличение высоты кузова и смещение центра тяжести автомобиля, поэтому использовать его можно только на горизонтальных площадках в безветренную погоду.

**Подвижной пол.** Недостатков откидного борта и самосвального подъема лишен подвижной пол, устанавливаемый на длинномерных полуприцепах с открытой крышей, которую после загрузки накрывают тентом (рис. Л4.15).



Рис. Л4.15. Подвижной пол в прицепах щеповозов

Для выгрузки щепы водитель приводит в действие гидравлическую систему, которая перемещает планки пола вперед и назад с шагом 10–30 см. Одновременно с планками пола передвигается и передняя стенка, которая проталкивает содержимое полуприцепа наружу.

Затем планки поочередно уходят в сторону кабины, и их влияние на движение груза оказывается заметно меньше, чем при движении в сторону откинутого борта, поэтому весь груз постепенно

перемещается к выходу и покидает транспортное средство. При этом передняя стенка остается на месте и сдвигается в сторону открытых дверей лишь одновременно со следующим тактом движения планок пола.

Находит также применение автощеповоз с системой мультилифт (рис. Л4.16).



Рис. Л4.16. Автощеповоз с системой мультилифт

**Железнодорожный транспорт.** Альтернативой автомобильному транспорту при перевозке **крупных объемов** (сотни кубометров) щепы на большие расстояния являются специализированные вагоны и полувагоны-щеповозы, которые вмещают 140–180 м<sup>3</sup> сыпучего груза. Экономически оправданной считается перевозка щепы на расстояние до 1000 км.

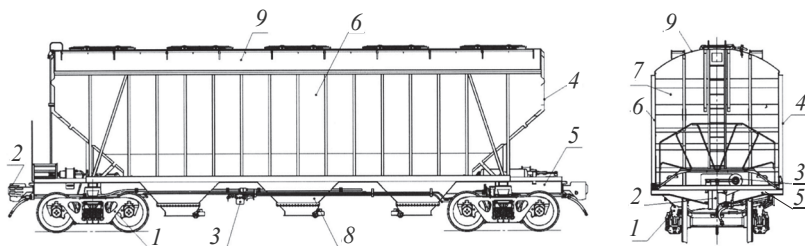


Рис. Л4.17. Хоппер для транспортировки сыпучих материалов:

- 1 – ходовые тележки; 2 – автосцепные устройства;  
3 – тормозное оборудование; 4 – кузов; 5 – рама в виде балочного каркаса;  
6, и 7 – боковые и торцевые стены; 8 – бункер; 9 – крыша

Разработаны специальные вагоны-щеповозы двух типов. Один из них представляет собой крытый цельнометаллический хоппер объемом  $140 \text{ м}^3$  (рис. Л4.17). Торцовые стенки наклонены под углом  $40^\circ$ . Вагон состоит из трех секций с отдельным пневматическим механизмом открывания разгрузочных люков. Крыша вагона предохраняет щепу от загрязнения, осадков и выдувания. На торцовых стенках и под горкой – в средней части вагона – установлены четыре вибратора для интенсификации процесса выгрузки. Однако выгрузка уплотненной и смерзшейся щепы из такого вагона затруднена, так как нельзя применить механизированное рыхление.

Вагон-щеповоз модели 22-478 (рис. Л4.18) имеет кузов цельнометаллической конструкции прямоугольного сечения объемом  $135 \text{ м}^3$  (табл. Л4.4). Отсутствие крыши облегчает процесс загрузки и выгрузки щепы. Но отсутствие механизации при открывании и закрытии люков, а также недостаточные углы наклона крышки люков, которые не обеспечивают гравитационного ссыпания щепы, являются основными недостатками этого вагона. В стадии разработки находится новый вагон-щеповоз объемом  $158 \text{ м}^3$ , отвечающий требованиям промышленности.

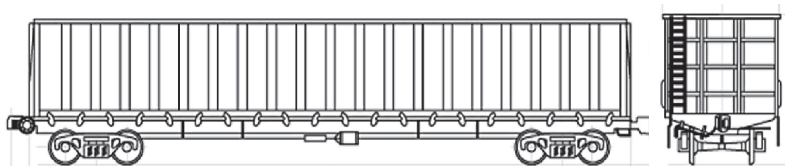


Рис. Л4.18. Четырехосный цельнометаллический полувагон для технологической щепы, модель 22-478

Для перевозки щепы используют также торфовозные хопперы вместимостью  $62 \text{ м}^3$  и саморазгружающиеся полувагоны для угля вместимостью  $91,2 \text{ м}^3$ . Недостатком вагонов общего пользования является возможность засорения щепы примесями, которые остаются от ранее перевозимых сыпучих грузов. Надставные борты и устройства затрудняют использование рыхлительных средств на разгрузке щепы и увеличивают простои вагонов.

Торфовозные хопперы и вагоны для угля целесообразно использовать в составе вертушек для транспорта щепы только на

короткие расстояния. Расчеты показали, что наиболее целесообразна организация перевозок в специализированных вагонах.

Таблица Л4.4

#### Технические характеристики вагона-щеповоза 22-478

Наименование параметра	Значение
Изготовитель	ОАО «Днепрвагонмаш»
Грузоподъемность, т	58
Масса тары вагона, т	25,85
Объем кузова, м <sup>3</sup>	135
Скорость конструкционная, км/ч	120
Наличие разгрузочных люков, шт.	20
Размер разгрузочных люков, мм	1327×1540
Угол открывания крышек люков, град:	
– средних	33
– надтележечных	24
Площадь пола, м <sup>2</sup>	53,2

На практике применяют вагоны общего назначения с надстроенными по высоте бортами и специализированные вагоны-щеповозы Днепродзержинского вагоностроительного завода.

Для лучшего использования грузоподъемности борта универсального четырехосного полувагона с деревянной обшивкой наращивают в пределах, допускаемых габаритом подвижного состава. У шестиосного цельнометаллического вагона объемом 104 м<sup>3</sup> борта не наращивают. Небольшое увеличение его вместимости примерно на 10% не покрывает высоких дополнительных затрат на дооборудование. Наращивание бортов требует дополнительных трудовых затрат, расхода пиломатериалов и увеличения времени простоя вагонов. Хотя затраты на устройство наращенных бортов оплачивает потребитель, интересы национальной экономики требуют, чтобы такие вагоны использовались в специальных составах – «вертушках» только для перевозки щепы. Это позволит исключить расходы на многократную надстройку бортов и сберечь пиломатериалы. Объем вагона составляет 64,8 м<sup>3</sup>, а с устройством наращенных бортов возрастает до 100 или 112 м<sup>3</sup>.

**Корабли.** Для перевозки **через моря и океаны** используют специальные суда-щеповозы, которые являются одной из разновидностей балкерных судов, предназначенных для транспортировки сыпучих грузов.

Такие корабли оснащены собственными транспортерами для выгрузки перевозимого груза, а объем груза составляет **десятки, а то и сотни тысяч тонн**, в зависимости от модели и размеров.

В табл. Л4.5 указаны наиболее популярные транспортные средства для вывозки щепы. Среди них грузовики, прицепы, полуприцепы.

Таблица Л4.5

**Варианты автомобильного транспорта для вывозки щепы**

Модель	Тип	Объем кузова, м <sup>3</sup>
ГАЗ-САЗ-35071	Трехсторонний самосвал	5 штатно, 10 с наставными бортами
ГАЗ-САЗ 2507	Трехсторонний самосвал	5 штатно, 10 с наставными бортами
МАЗ 4571Р2-437-000	Трехсторонний самосвал	11,5
МАЗ 6501	Щеповоз с контейнером мультилифт	35–40
КАМАЗ 65115	Зерновоз	20
МАЗ 6501С9-8535-000	Зерновоз	32
FAW CA3250	Зерновоз	30
СЗАП-8357-02СХ	Несамосвальный прицеп	25,5
8499/02	Самосвальный прицеп	27,5
8594	Несамосвальный прицеп	26
PF-41В Standart	Несамосвальный полуприцеп	64,3
Тонар-95411	Сочлененный автопоезд	72 (31,5 + 40,5)
Wielton NS 3 R (NS 34 YТ/РР)	Полуприцеп с подвижным полом	87
Тонар-9586	Полуприцеп с подвижным полом	82,6

**Покупка или аренда?** Этот выбор приходится делать большинству руководителей предприятий, производящих или перерабатывающих древесную щепу. Чтобы принять правильное решение,

необходимо сравнить **достоинства и недостатки** как покупки собственной машины, так и аренды транспортного средства.

Плюсы покупки:

- независимость от перевозчика;
- возможность самостоятельно планировать время отправки в рейс;
- возможность сдавать автомобиль и (или) прицеп в краткосрочную аренду на те периоды, когда по каким-то причинам транспортное средство не планируется использовать для перевозки щепы.

Минусы покупки:

- необходимость затраты *крупной суммы денег* на покупку, либо *большой переплаты* при покупке в кредит, либо серьезных рисков при приобретении в лизинг;
- затраты на покупку горюче-смазочных материалов (ГСМ);
- затраты на проведение *техобслуживания* (вне зависимости от количества рейсов в течение года, чтобы не лишиться гарантии, нужно проводить их только в сертифицированной организации);
- затраты на *страхование* автомобиля (вне зависимости от количества рейсов в течение года);
- затраты на оплату труда водителя;
- потери времени на проведение *техосмотра* (вне зависимости от количества рейсов в течение года).

Плюсы аренды:

- *оплата только за время*, затраченное для перевозки груза;
- отсутствие затрат времени на проведение техобслуживания и прохождение техосмотра автотранспорта для перевозки щепы.

Минусы аренды:

- необходимо *заранее согласовывать* с владельцем транспортного средства время и маршрут каждого рейса;
- *стоимость рейса* получается *заметно выше*, чем при использовании собственной машины;
- всегда существует вероятность, что у владельца машины или прицепа найдется более важное или срочное задание для этой техники и придется либо *ждать*, пока техника освободится, либо *искать другого перевозчика*.

Все это позволяет сделать однозначный вывод – покупка собственного транспортного средства оправдана лишь в том случае,



если оно постоянно будет загружено работой. Если же большую часть времени техника будет простаивать, то дешевле брать ее в аренду.

**Хранение щепы.** Необходимость хранения щепы на складе вызывается нерегулярной отгрузкой и неравномерной работой объектов, где осуществляется хранение и использование щепы.

Вместимость и запас – два важных показателя склада щепы. Наибольшее количество щепы, которое можно отсыпать на складе, характеризует его **вместимость**. **Запас** определяется объемом щепы, которая хранится на складе в данный момент времени. Этот показатель непостоянен для склада и является случайной величиной. При недостаточной вместимости склада возможно его переполнение, из-за чего возникают простои цеха и потери 25–30% рабочего времени. Чрезмерная вместимость потребует излишних и ненужных капитальных вложений на устройство склада. Она отрицательно скажется и на качестве щепы из-за продолжительного хранения.

Значения оптимальной вместимости склада при вывозке щепы вагонами и автощеповозами приведены в табл. Л4.6.

Таблица Л4.6

#### Оптимальная вместимость склада

Сменный объем поступления щепы из цеха на склад, пл. м <sup>3</sup>	15	25	50	100	200
Рекомендуемая вместимость склада, смен	27–36	19–26	15–21	10–15	7–12

**Классификация складов щепы** осуществляется в зависимости от объема хранимой измельченной древесины и способа хранения. По объему хранимой щепы условно различают склады малой, средней и большой вместимости. Склады малой вместимости рассчитаны на хранение запаса щепы до 7-сменной выработки, склады средней вместимости – до 36-сменной выработки (такие склады используют при вывозке щепы вагонами и автощеповозами). Склады большой вместимости, рассчитанные на хранение щепы в межнавигационный период, устраивают на береговых складах, когда вывозка производится в судах.

Различают три основных способа хранения щепы: закрытый – в бункерных галереях, открытый – в кучах на специальных площадках, контейнерный – в небольших емкостях.

**Закрытые склады щепы** имеют механизированные бункерные галереи, которые представляют собой систему железобетонных или деревянных бункеров призматической или цилиндрической формы, с боковым (рис. Л4.19, *а, б*) или нижним (рис. Л4.19, *в, г*) расположением разгрузочных люков.

Равномерное распределение щепы по бункерам производится с помощью скребковых или ленточных транспортеров *1* и *б*, расположенных на верхнем перекрытии *2*. Выгрузка осуществляется гравитационным истечением щепы через боковые или нижние люки, которые имеют подвижные створки *8*. При свободном истечении щепы через щелевое отверстие в бункере наблюдается образование динамических сводов, которое зависит от многих факторов. Для интенсификации выгрузки дно бункера *4* делается наклонным, а на стенках *4* и *5* устанавливают электровибраторы *7*. С этой же целью боковые стенки *3* делают не вертикальными, а с наклоном под углом  $10^\circ$ . Производительность погрузки составляет  $30\text{--}70\text{ м}^3/\text{ч}$ .

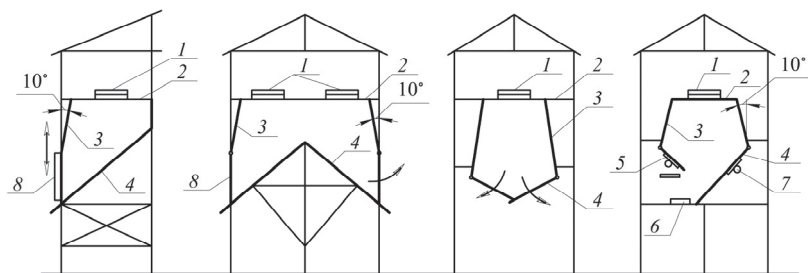


Рис. Л4.19. Типы бункерных галерей

Представляет интерес конструкция бункерной галереи с принудительной выгрузкой щепы транспортером, расположенным в днище (рис. Л4.19, *г*). Преимуществом такой галереи является возможность расположения основания бункера на небольшой безопасной высоте. При установке двух транспортеров может производиться загрузка одновременно двух щеповозов, которые ставят под погрузку рядом с галереей.

Закрытое хранение позволяет защитить щепу от неблагоприятных воздействий окружающей среды. Однако бункерные галереи требуют больших капиталовложений. Они имеют ограниченную вместимость: в пределах от 50 до 100 м<sup>3</sup> при вывозке автощеповозами, от 650 до 1500 м<sup>3</sup> при вывозке вагонами. Для хранения щепы различных древесных пород и назначения требуется устройство отдельных галерей.

**Открытые склады** для кучевого хранения щепы получают все большее распространение благодаря следующим преимуществам: относительно низким затратам на устройство и содержание; экономичному использованию производственной площади; практически неограниченной вместимости.

Склады для открытого хранения щепы могут вмещать от 1000 м<sup>3</sup> до 700 тыс. м<sup>3</sup>, а высота куч достигает 30 м. В леспромхозах для кучевого хранения устраивают сравнительно небольшие площадки размером от 25×25 до 65×70 м. На нижнем складе можно устраивать несколько таких площадок в зависимости от породы древесины, назначения и качества щепы. Твердое покрытие площадок делается асфальтобетонным или гравийным, с уклоном для отвода воды. Береговые открытые склады щепы можно устраивать на причалах эстакадного типа или свайном основании из бревен. Чтобы щепу не уносило ветром за пределы склада, по его периметру устанавливают сетчатое мелкоячеистое ограждение высотой до 2,5 м. Объем щепы, хранимой на таких площадках, достигает 4–5 тыс. м<sup>3</sup> при высоте куч 8–10 м.

Площадка для склада должна располагаться с наветренной стороны по отношению к источникам пыления, дымовым трубам и установкам с открытыми источниками огня. Требования противопожарной безопасности должны быть учтены при устройстве складов открытого хранения щепы. Пожарная опасность открытых складов щепы значительно ниже, чем складов круглых лесоматериалов. При возгорании щепы интенсивность горения зависит от скорости ветра и влажности древесины. Слой образующейся золы значительно снижает скорость горения и тепловое излучение. Температура на расстоянии 1 м от горячей поверхности щепы не превышает 100°С, поэтому можно подойти вплотную к куче и ликвидировать огонь распыленной струей воды.

Открытые склады оборудуют ленточными конвейерами и пневмотранспортными установками. Наиболее плотную укладку

щепы в кучах осуществляет пневмотранспорт, которому следует отдавать предпочтение. Высота куч при этом не ограничивается стоимостью оборудования для насыпки, а трубопровод пневмосистемы можно прокладывать над кучей.

Способ открытого хранения щепы имеет ряд недостатков, к числу которых следует отнести:

- развитие биохимических процессов, вызывающих деструкцию и потери древесины, легкогидролизуемых и смолистых веществ;

- воздействие на щепу окружающей среды, что приводит к перемешиванию ее со снегом, загрязнению минеральными примесями, смерзанию наружных слоев, потемнению и деструкции древесины под воздействием солнечной радиации.

Хорошо известно, что влажные материалы органического происхождения подвержены саморазогреванию в результате деятельности микроорганизмов. Поверхность контакта древесины с внешней средой в щепе возрастает в 150–200 раз, поэтому щепы в кучах начинают разогреваться сразу же после отсыпки.

Однако экзотермические процессы не происходят при низких температурах воздуха. Для начала деятельности микроорганизмов необходима температура +3°C.

Температурный режим зависит от размера куч, плотности укладки частиц, времени года, породы древесины, примесей, атмосферных воздействий. Быстрее разогреваются большая масса щепы объемом свыше 3000 м<sup>3</sup>, уложенная пневмотранспортом. Кучи щепы, сформированные ленточными конвейерами, имеют более рыхлую структуру и разогреваются до более низких температур. В небольших кучах теплоотдача может значительно превышать интенсивность экзотермического процесса, и увеличение температуры не наблюдается. Однако это не является свидетельством того, что деятельность микроорганизмов не происходит. Потери древесины в небольших рыхлых кучах щепы выше, чем в больших плотных кучах.

Интенсивность нарастания температур неодинакова для различных пород древесины. Щепы из древесины лиственных пород достигает наибольшей температуры после 10–15 дней хранения, хвойная – после 15–30 дней. Наибольшая температура разогрева

березовой щепы составляет 67–69°C, сосновой – 62–64°C, еловой – 56–59°C. Примесь опилок способствует увеличению температуры до 80°C, а коры – до 90°C.

В благоприятных температурно-влажностных условиях доразрушающие грибы быстро изменяют структуру древесины. В результате протекающих реакций и разрушительной деятельности микроорганизмов происходят потери древесины, которые определяют по изменению ее плотности. За 4–5 месяцев потери массы абсолютно сухой щепы составляют у хвойных пород от 2,2 до 9,7%. Потери древесины при хранении в летних условиях обычно выше для щепы, находящейся на боковых склонах куч, а зимой они выше в центральных и нижних слоях. В районах с умеренным климатом потери не превышают 0,5–0,7% за каждый месяц хранения.

Для снижения потерь древесины при кучевом хранении предложены физические, химические и биологические способы защиты щепы. Наиболее простым, доступным, дешевым и нетоксичным способом защиты является орошение щепы водой. Плотность увлажненной щепы не меняется на протяжении 4 месяцев от начала хранения. При химических способах защиты древесина подвергается обработке водными растворами различных антисептиков. Биологические способы защиты, основанные на антагонизме грибов, находятся в стадии разработки. Вопросы защиты измельченной древесины имеют важное народнохозяйственное значение. Несмотря на то, что щепа на лесозаготовительных предприятиях хранится сравнительно недолго, защитную обработку целесообразно проводить в начальной стадии ее производства на лесных складах.

**Контейнерный способ** хранения имеет одно важное преимущество по сравнению с бункерным и кучевым: щепа не подвергается здесь различным механическим воздействиям и сохраняет свое качество наилучшим образом.

Разработаны типовые конструкции жестких контейнеров для щепы типа КЩ-2 и КЩ-3 вместимостью 17,5 и 12,5 м<sup>3</sup>. Масса контейнеров составляет 1100 и 940 кг. Выгрузка щепы осуществляется через открывающиеся в днище створки. Преимущество контейнеров – возможность использования на погрузке действующих на нижнем складе ПТМ. Своеобразным контейнером является сменный кузов щеповоза, который заполняется щепой в тот период, когда автомобиль отвозит заполненный кузов потребителю.

Контейнерное хранение и контейнерные перевозки щепы получают широкое распространение, когда будут разработаны легкие жесткие контейнеры с сетчатым ограждением. Находят применение при хранении и вывозке зеленой щепы за рубежом легкие контейнеры – мешки большой вместимости. Важное значение будут иметь сплавные контейнеры для береговых удаленных складов.

**Оформление результатов работы** осуществляется в письменном отчете, в котором должны быть приведены схемы и описания конструкций применяемых средств для транспортировки щепы. Также в отчете необходимо перечислить способы хранения щепы с указанием их преимуществ и недостатков.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите оборудование и механизмы для внутрискладского транспорта щепы.
2. Какие требования предъявляются к внутрискладскому транспорту щепы?
3. В чем заключаются преимущества и недостатки механических и пневматических установок для транспортировки щепы?
4. По какому признаку осуществляется классификация сортировочных машин для щепы?
5. Как выполняется вынос рассортированной щепы?
6. Обоснуйте необходимость ориентирования щепы при просевании ее через сито, параллельно плоскости сита.
7. Назовите способы хранения щепы на складе. Перечислите их преимущества и недостатки.

## Лабораторная работа № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ

**Цель работы** – изучить классификацию композитных материалов с древесным наполнителем, их основные параметры и характеристики, а также методики для определения их основных характеристик.

**Оборудование и инструменты:** образцы различных видов плит, строительных материалов на основе древесного наполнителя; линейка, весы, пресс для испытания на сжатие.

**Методика выполнения:** изучение характеристик композитных материалов с древесным наполнителем путем визуального осмотра образцов, а также исследовать их прочностных качеств при испытаниях на сжатие и на изгиб при помощи прессы.

### **Дополнительная литература:**

1. Раздел 3 теоретической части данного учебно-методического пособия.

2. Соловьева, Т. В. Технология древесных композиционных материалов и изделий: учеб.-метод. пособие / Т. В. Соловьева, М. М. Ревяко, И. А. Хмызов. – Минск: БГТУ, 2008. – 176 с.

3. Технология и оборудование комплексного использования древесного сырья. Практикум: учеб.-метод. пособие / А. С. Федоренчик [и др.]. – Минск: БГТУ, 2013. – 195 с.

**Определение физико-механических показателей ДВП.** Влажность плит определяют весовым методом, основанным на выделении влаги при высушивании образцов размером 100×100 мм до постоянной массы. В работе допускается использование для испытаний меньших по размеру образцов в связи с малыми размерами сушильного шкафа. Влажность образца плиты выражают отношением массы влаги, содержащейся в нем, к массе сухой плиты:

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100\%, \quad (\text{Л5.1})$$

где  $m_1$  – масса влажной плиты, кг;  $m_0$  – масса сухой плиты, кг.

Плотность плит определяют путем взвешивания и обмера двух образцов. Толщину каждого образца замеряют толщиномером с точностью до 0,01 мм и устанавливают как среднее арифметическое из четырех замеров, производимых на расстоянии не менее 25 мм от края. Линейные размеры образца замеряют штангенциркулем с точностью до 0,1 мм в двух местах параллельно кромкам. За длину и ширину образца принимают среднее арифметическое значение результатов замеров двух параллельных сторон. После измерения образцы плит взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г.

Плотность рассчитывают, округляя до 10 кг/м<sup>3</sup>, по формуле

$$\rho = \frac{m}{l \cdot b \cdot h}, \quad (\text{Л15.2})$$

где  $m$  – масса сухого образца, кг;  $l$  – длина образца, м;  $b$  – ширина образца, м;  $h$  – толщина образца, м.

**Определение разбухания по толщине** производят на образцах размером 100×100 (80×80) мм, замеряя их толщину в четырех точках на расстоянии не менее 25 мм от кромки. Образцы устанавливают в решетку и вертикально погружают в воду температурой  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  таким образом, чтобы верхний край образцов находился на 20–30 мм ниже уровня поверхности воды.

Исследования показывают, что образцы значительно изменяют свои линейные размеры и интенсивно поглощают воду лишь в первые 2–4 ч выдержки, поэтому в учебных целях достаточно выдерживать образцы в ванне в течение 2 ч. Затем их извлекают из ванны и укладывают каждый отдельно в горизонтальном положении между листами фильтровальной бумаги для удаления излишков влаги, а сверху пачки из образцов помещают небольшой груз (например, гирию весом 2 кг). После трехминутной выдержки измеряют толщину каждого образца микрометром с точностью до 0,01 мм в тех же четырех точках, как и в сухом образце. За толщину принимают среднее арифметическое четырех измерений.

**Разбухание** определяют по изменению толщины плиты до и после увлажнения по отношению к толщине плиты до увлажнения с точностью до 0,1%:

$$N = \frac{h - h_0}{h_0} \cdot 100\%, \quad (\text{Л15.3})$$



где  $h_0$  и  $h$  – толщина образцов до и после увлажнения соответственно, м.

Определение *водопоглощения лицевой поверхностью* осуществляют на образцах размером 80×80 мм. Образцы взвешивают, производят гидроизоляцию кромок и нелицевой поверхности, погружая их в расплавленный парафин при температуре  $(85 \pm 5)^\circ\text{C}$ . При нанесении парафина на кромки образец окунают по очереди каждой кромкой до линии, отстоящей от нее на расстоянии 3 мм. Повторно взвешивают образцы и погружают в воду в соответствии с методикой определения разбухания по толщине. В очередной раз взвешивают образцы. Водопоглощение лицевой поверхностью вычисляют по формуле

$$\Delta W_{\text{л.п}} = \frac{m_3 - m_2}{m_1} \cdot 100\%, \quad (\text{Л5.4})$$

где  $m_3$  – масса образца с гидроизоляцией после вымачивания, г;  $m_2$  – масса сухого образца с гидроизоляцией, г;  $m_1$  – масса образца без гидроизоляции, г.

*Предел прочности при изгибе* определяют по результатам испытаний образцов плит размером 40×160 мм на испытательной машине ИР 5057-50 (рис. Л5.1) при скорости нагружения  $(30 \pm 3)$  мм/мин.



Рис. Л5.1. Разрывная машина ИР 5057-50

Расстояние между опорами приспособления, на которые помещают образцы плит, устанавливают равным 25-кратной номинальной толщине плит (75 мм) (рис. Л5.2). Одну половину испытываемых образцов укладывают на опоры сеточной стороной вверх, а другую – сеточной стороной вниз. Разрушающую нагрузку фиксируют с точностью до 1 Н.

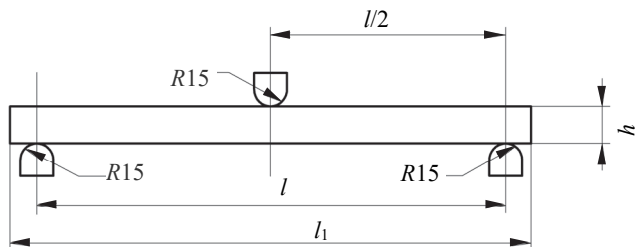


Рис. Л5.2. Схема укладки образца на опоры

Предел прочности при изгибе вычисляют с точностью до 0,5 МПа по формуле

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}, \quad (\text{Л5.5})$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н;  $l$  – расстояние между опорами приспособления испытательной машины, м;  $b$  – ширина образца, м;  $h$  – толщина образца, м.

Результаты работы оформляют в виде табл. Л5.1.

Таблица Л5.1

#### Физико-механические показатели испытаний ДВП

Показатель	Значение показателя по заданию*	Результат испытаний
Толщина плиты, мм	2,8–3,2	
Влажность, %	3–10	
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	800–1100	
Разбухание за 2 ч, %	20–23	
Водопоглощение лицевой поверхностью, %	9–11	
Предел прочности при изгибе, МПа	33–38	

\*Приводятся значения показателей по ГОСТ 4598–2018.

Проводят сравнение ожидаемых и полученных показателей качества с анализом имеющегося их несоответствия.

**Методика определения прочности арболита.** Определение прочности арболита состоит в измерении минимальных усилий разрушения специально изготовленных контрольных образцов арболита при их статическом нагружении, с постоянной скоростью нарастания нагрузки, и последующем вычислении напряжений при этих усилиях.

Изготовление контрольных образцов арболита осуществляется на основании ГОСТ 19222–84.

Пробы арболитовой смеси для получения контрольных образцов, предназначенных для лабораторных исследований, следует отбирать из специально приготовленных лабораторных замесов арболитовой смеси. Состав и содержание компонентов арболитовой смеси определяются в соответствии с методикой, приведенной в учебном пособии [46].

Объем пробы арболитовой смеси должен превышать требуемый для изготовления всех серий контрольных образцов не менее чем в 1,2 раза. Отобранная проба бетонной смеси должна быть дополнительно вручную перемешана перед формованием образцов.

Образцы изготавливают в поверенных (калиброванных) формах, соответствующих требованиям ГОСТ 22685–89.

Форма и номинальные размеры образцов в зависимости от метода определения прочности арболита должны соответствовать указанным в табл. Л5.2.

Таблица Л5.2

**Форма и номинальные размеры образцов**

Метод	Форма образца	Номинальные размеры образца, мм
Определение прочности на сжатие и на растяжение при раскалывании	Куб	Длина ребра: 100; 150; 200; 250; 300
	Цилиндр	Диаметр $h$ : 100; 150; 200; 250; 300 Высота $h \geq d$

*Примечание.* Допускается применение образцов других форм и размеров, если они предусмотрены в действующих нормативных или технических документах.

За базовый образец при всех видах испытаний следует принимать образец-куб или образец-призму с размером рабочего сечения 150×150 мм.

Наименьшие размеры образцов в зависимости от наибольшего номинального размера зерен заполнителя в пробе арболитовой смеси должны соответствовать указанным в табл. Л5.3.

Таблица Л5.3

**Наибольший номинальный размер зерен заполнителя**

Наибольший номинальный размер зерна заполнителя	Наименьший размер образца (ребра образца-куба, стороны поперечного сечения образца-призмы, диаметра и высоты образца-цилиндра)
20 и менее	100
40	150
70	200
100	300

Перед использованием форм их внутренние поверхности должны быть покрыты тонким слоем смазки, не оставляющей пятен на поверхности образцов и не влияющей на свойства поверхностного слоя арболита. Укладку арболитовой смеси в форму и ее уплотнение следует проводить не позднее чем через 20 мин после отбора пробы.

При лабораторных исследованиях, а также при производственном контроле уплотнение арболитовой смеси в формах проводят механическим способом с использованием виброплощадки. В этом случае форму с уложенной и уплотненной штыкованием арболитовой смесью жестко закрепляют на лабораторной виброплощадке, которая работает до полного уплотнения, характеризуемого прекращением оседания арболитовой смеси, выравниванием ее поверхности, появлением на ней тонкого слоя теста.

После окончания укладки и уплотнения арболитовой смеси в форме верхнюю поверхность образца заглаживают мастерком или пластиной.

На образцы непосредственно после их изготовления должна быть нанесена маркировка, идентифицирующая принадлежность образца и дату его изготовления. Маркировка не должна повреждать образец или влиять на результаты испытания.

Способ и режим твердения образцов арболита, предназначенных для производственного контроля прочности, следует принимать по ГОСТ 18105–2018. Образцы, предназначенные для твердения в нормальных условиях, после изготовления до их распалубливания

хранят в формах, покрытых влажной тканью или другим материалом, исключаящим испарение из них влаги, в помещении с температурой воздуха  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ .

При определении прочности бетона на сжатие образцы распалубливают не ранее чем через 24 ч и не позднее чем через 72 ч.

После распалубливания их помещают в камеру с нормальными условиями твердения: температурой  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  и относительной влажностью воздуха  $(95 \pm 5)\%$ . Образцы укладывают на подкладки так, чтобы расстояние между ними, а также между образцами и стенками камеры было не менее 5 мм. Площадь контакта образца с подкладками, на которые он установлен, должна быть не более 30% площади опорной грани образца. Образцы в камере нормального твердения не должны орошаться водой. Допускается их хранение под слоем влажного песка, опилок или других систематически увлажняемых гигроскопичных материалов.

Испытания образцов арболита на сжатие производятся в возрасте 7 и 28 сут.

Образцы изготавливают и испытывают сериями. Их число в серии принимают по табл. Л5.4 в зависимости от среднего рассчитываемого внутрисерийного коэффициента вариации прочности бетона  $\overline{V}_s$ .

Таблица Л5.4

#### Число образцов в серии

Внутрисерийный коэффициент вариации $\overline{V}_s$ , %	5 и менее	Более 5 до 8 включительно	Более 8*
Требуемое число образцов в серии, шт., не менее	2	3** или 4	6

\* В случае, если средний внутрисерийный коэффициент вариации прочности бетона на сжатие  $V_s$  превышает 8%, необходимо провести внеочередную переаттестацию испытательной лаборатории.

\*\* При применении форм типа 2ФК по ГОСТ 22685–89 число образцов в серии принимают равным четырем, при применении форм типа 1ФК и 3ФК – трем.

Перед испытанием образцы подвергают визуальному осмотру для установления наличия дефектов в виде трещин, сколов ребер, раковин и инородных включений. Образцы, имеющие трещины, сколы ребер глубиной более 10 мм, раковины диаметром более 10 мм и глубиной более 5 мм, а также следы расслоения и недоуплотнения арболитовой смеси, испытанию не подлежат. Наплывы арболита на ребрах опорных

поверхностей образцов должны быть удалены абразивным камнем. Результаты осмотра и измерений записывают в журнал испытаний (табл. Л5.5). При наличии дефектов фиксируют схему их расположения.

Таблица Л5.5

**Форма журнала испытаний при определении прочности  
контрольных образцов на сжатие**

Дата изготовления контрольного образца	Маркировка серии образцов	Нормируемые характеристики прочности и плотности бетона		Дата испытания контрольных образцов
		Проектный класс бетона, по прочности, МПа – Марка по средней плотности	Отпускная (передаточная) прочность или промежуточная прочность, МПа	

Окончание табл. Л5.5

Характеристика образца			Результаты испытания			Примечание
Масса, г	Размеры, см	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Разрушающая нагрузка, кН	Прочность образца, приведенная к базовому размеру, МПа	Средняя прочность образцов в серии, МПа	

На образцах выбирают и отмечают опорные грани, к которым должны быть приложены усилия в процессе нагружения.

Опорные грани отформованных образцов-кубов, предназначенных для испытания на сжатие, выбирают так, чтобы сжимающая сила при испытании была направлена параллельно слоям укладки бетонной смеси в формы.

Линейные размеры образцов измеряют с погрешностью не более 1%. Результаты измерений линейных размеров образцов записывают в журнал испытаний.

Все образцы одной серии должны быть испытаны в расчетном возрасте в течение не более 1 ч.

Определение прочностных характеристик проводилось с помощью гидравлического пресса ПСУ-50 (рис. Л5.3). Параметры гидравлического пресса указаны в табл. Л5.6.

Перед установкой образца в испытательную машину удаляют с опорных плит частицы арболита, оставшиеся от предыдущей работы.

Шкалу силоизмерителя испытательной машины выбирают из условия, что ожидаемое значение разрушающей нагрузки должно быть в интервале от 20 до 80% максимальной нагрузки, допускаемой выбранной шкалой.



Рис. Л5.3. Гидравлический пресс ПСУ-50

Таблица Л5.6

#### Параметры гидравлического пресса ПСУ-50

Наименование параметра	Показатель
Пределы силоизмерения, тс	5–50
Погрешность измерения, %	±2
Скорость хода опоры сжатия, мм/мин	0–20
Длина рабочего хода опоры сжатия, мм	0–50
Общая мощность, кВт	1
Размер опорных плит, мм	320×320
Габаритные размеры, мм	1200×1000×2200
Масса, кг	800

Нагружение образцов проводят непрерывно с постоянной скоростью нарастания нагрузки до их разрушения. Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принимают за разрушающую нагрузку.

При испытании на сжатие образцы-кубы устанавливают одной из выбранных граней на нижнюю опорную плиту испытательной машины (пресса) центрально относительно ее продольной оси, используя риски, нанесенные на плиту данной машины (пресса), или специальное центрирующее приспособление.

Если испытательная машина (пресс) имеет один шаровой шарнир, радиус которого не обеспечивает поворот опорной плиты в процессе нагружения образца, то рекомендуется для передачи сжимающего усилия по оси образца устанавливать дополнительную опорную плиту с шарниром, обеспечивающим ее поворот. Дополнительную опорную плиту размещают так, чтобы плита испытательной машины (пресса) с шарниром и дополнительная опорная плита прилегали к противоположным граням образца.

После установки образца на опорные плиты испытательной машины или дополнительные стальные плиты совмещают верхнюю плиту испытательной машины с верхней опорной гранью образца так, чтобы их плоскости полностью прилегали одна к другой. Образец нагружают до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки  $(0,6 \pm 0,2)$  МПа/с.

В случае разрушения образца по одной из неудовлетворительных схем, результат не учитывают, о чем делают запись в журнале испытаний.

Прочность арболита в серии образцов определяют как среднеарифметическое значение прочности испытанных в ней образцов:

- из двух образцов – по двум образцам;
- трех образцов – по двум образцам с наибольшей прочностью;
- четырех образцов – по трем образцам с наибольшей прочностью;
- шести образцов – по четырем образцам с наибольшей прочностью.

При отбраковке дефектных образцов прочность арболита в серии определяют по всем оставшимся образцам, если их не менее двух.

Результаты испытания серии из двух образцов при отбраковке одного образца не учитывают.

Разрушенный образец подвергают визуальному осмотру. Примеры разрушений образцов при испытаниях на сжатие представлены на рис. Л5.4 и Л5.5.

В журнале испытаний отмечают наличие:

- крупных (объемом более 1 см) раковин и каверн внутри образца;



– зерен заполнителя размером более 1,5; комков глины, следов расслоения.

Результаты испытаний образцов, имеющих перечисленные дефекты структуры и характер разрушения, не учитывают.

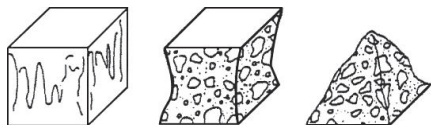


Рис. Л5.4. Удовлетворительные разрушения образцов-кубов

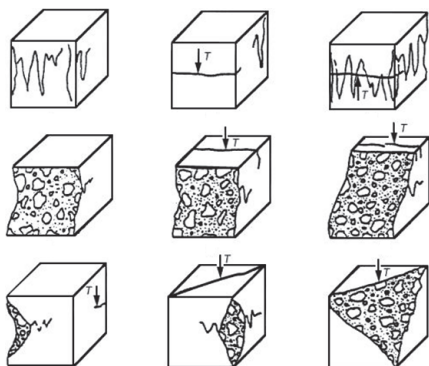


Рис. Л5.5. Неудовлетворительные разрушения образцов-кубов

## Контрольные вопросы

1. Дайте определение древесным композиционным материалам. Что к ним относят?
2. Приведите классификацию композиционным материалам на основе древесных заполнителей.
3. Перечислите основные этапы производства древесных композиционных материалов.
4. Какие показатели определяют качество ДКМ?
5. Перечислите методики определения качественных характеристик ДКМ.

## Лабораторная работа № 6 ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО

**Цель работы** – изучить виды и классификацию древесного топлива, их характеристики и параметры, методику определения теплотворной способности древесного топлива в лабораторных условиях.

**Оборудование и инструменты:** образцы древесного топлива, нормативно-технические документы по древесному топливу, раздаточный материал и проспекты.

**Методика выполнения:** определение основных параметров представленных образцов древесного топлива и их соответствия действующим ТНПА.

### Дополнительная литература:

1. Раздел 3 теоретической части данного учебно-методического пособия.

2. Федоренчик, А. С. Комплексное использование древесного сырья: тексты лекций. – Минск: БГТУ, 2013. – 88 с.

3. Энергетическое использование древесной биомассы: заготовка, транспортировка, переработка и сжигание: учеб. пособие / авт.-сост. В. С. Сютёв [и др.]. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2014. – 123 с.

4. Головков, С. И. Энергетическое использование древесных отходов / С. И. Головков, И. Ф. Коперин, В. И. Найденов. – М.: Лесная пром-сть, 1987. – 224 с.

Древесные топливные гранулы (пеллеты) – это цилиндрические изделия диаметром 4–12 мм, длиной 20–50 мм, плотностью 1,25–1,30 г/см<sup>3</sup>, обладающие высокой теплотой сгорания – до 19,5 МДж/кг (рис. Л6.1). Одна тонна пеллет при сжигании выделяет такое же количество энергии, как 1600 кг дров, 685 л мазута, 500 л дизельного топлива, 480 м<sup>3</sup> газа. Зольность древесных гранул до 1,5%, корьевых – до 3,5%.

Благодаря высокой плотности гранулы экономически оправдано перевозить на большие расстояния. Кроме того, они могут перемещаться в автоматических печах, не требуют много места для складирования. Зола, составляющая до 1% от массы топлива, может использоваться как удобрение.



Рис. Л6.1. Топливные гранулы (пеллеты)

Сырьем для производства топливных гранул служат отходы лесопильных и деревообрабатывающих производств, а также балансовая древесина, выбракованный пиловочник, низкокачественная древесина, тонкомерный неликвид.

От лесопильного производства могут использоваться как сыпучие (опилки, стружка, щепа), так и кусковые отходы (кромки, оторцовки, горбыль). При поставке лесопильных отходов должно соблюдаться требование отсутствия коры. Для снижения уровня зольности топлива рекомендуется использовать окоренное сырье и указывать это требование в договоре поставки щепы и отходов. Удаление коры из массы щепы практически труднореализуемо. При поставке круглых лесоматериалов кора может удаляться непосредственно в процессе подготовки сырья к выработке топливных гранул.

Топливные брикеты – спрессованные мелкоизмельченные сухие древесные отходы, торф, кора, имеющие различную геометрическую форму в зависимости от используемого оборудования (рис. Л6.2).



Рис. Л6.2. Топливные древесные брикеты

Допускаются примеси коры, крупные включения древесины длиной 10–20 мм. Длина топливных брикетов обычно составляет 100–300 мм, диаметр – 50–75 мм, теплотворная способность высокая – 4400 ккал/кг, плотность – до 1200 кг/м<sup>3</sup>, зольность низкая – до 1%, являются СО<sub>2</sub>-нейтральным возобновляемым биотопливом.

Брикетирование производится как с целью увеличения плотности сырья для повышения рентабельности его перевозки, так и для удобства использования при сжигании. Влажность брикетов – 8–10%, насыпная плотность – от 350 до 650 кг/м<sup>3</sup>.

Брикеты по своей форме бывают шашечные и брусковые. Шашечные брикеты имеют сплошное сечение определенной формы (по форме матрицы) размером от 20×20 до 100×100 мм. Толщина их варьируется от 20–30 мм до 100 мм. Плотность этих брикетов находится в пределах 650–1000 кг/м<sup>3</sup>. Изготавливают шашечные брикеты на штемпельных (матричных) прессах периодического действия.

Брусковые брикеты имеют продольное сквозное отверстие диаметром 13–22 мм. Форма сечения может быть круглая, квадратная, шестигранная. Размеры сечения – от 30×30 мм до 90×90 мм, длина бруска – от 30 до 1000 мм. Плотность брикетов находится в пределах 1000–1400 кг/м<sup>3</sup>.

Требования к сырью при производстве брикетов менее высокие, чем пеллет. Не требуется дополнительный тонкий помол. Допускаются заметные примеси коры, крупной стружки длиной до 20 мм. Прессованию поддается сырье влажностью 6–12%.

Основное требование к сырью для прессования – наличие в его химическом составе лигнина, который является связующим веществом, выделяющимся из клеток древесины под действием давления и температуры.

Содержание лигнина в хвойных породах древесины составляет 28–34%, в лиственных породах – 17–27%, в древесной коре – в среднем 17–44%, в зависимости от породы и состава коры (луб, корка). Рекомендуемая температура, при которой получается прочный брикет, должна быть в пределах 150–250°С. При более низкой температуре (80–120°) брикеты будут менее прочные. Ограничением верхнего предела температуры является обугливание верх-

них слоев брикета – происходит частичное разложение брикета (пиролиз).

Главные реакции распада древесины совершаются при температуре 275–450°C с бурным выделением тепла, начинают интенсивно образовываться газы (дымка).

Помимо приведенных выше типов облагороженного топлива из древесного сырья также можно получить древесный порошок, топливные шайбы, торрефицированные гранулы и брикеты, а также древесный уголь.

Древесный порошок производится путем размола древесины. Его получение часто комбинируется с сушкой сырья при отсутствии достаточного количества сухих древесных отходов.

Топливные шайбы – спрессованные частицы растительного происхождения, имеющие форму цилиндров диаметром более 25 мм и длиной около 12 мм (в зависимости от оборудования). По сути дела – это разрезанные по длине топливные брикеты. Если при производстве шайб на выходе брикетного пресса установить крестовину, то шайбы разделятся на 4 равные части и превратятся в четвертаки.

Торрефицированные гранулы и брикеты – биотопливо, полученное путем торрефикации. Торрефикация – мягкий пиролиз растительной биомассы, т. е. процесс термохимического преобразования растительных материалов при температуре до 300°C и медленном нагреве.

Главным преимуществом торрефицированного продукта является более высокая калорийность по сравнению с «непережженными» аналогами. Так, теплотворная способность древесины составляет 18–19 МДж/кг, древесного угля – 30–33, а торрефиката – 22–23 МДж/кг. При этом выход древесного угля составляет всего 28–35% от абсолютно сухой древесины, а торрефиката – 60–70%. Таким образом, данное биотопливо привлекательно, прежде всего, для покупателей, ведь для получения необходимого количества энергии необходимо купить, доставить и сжечь меньшее количество торрефицированного топлива.

**Сравнительные характеристики древесного топлива.** К древесному топливу, в особенности облагороженному, предъявляются требования по основным их характеристикам: количество выделяемого тепла; эффективность работы котельного оборудования; удобство подачи топлива на сжигание; количество выделяемых газов и др.

Требования к основным параметрам качества древесного топлива прописываются в соответствующих нормативно-правовых документах, действующих на территории страны, а также за рубежом.

Так, к топливным гранулам предъявляется широкий набор достаточно жестких требований. Основные характеристики древесных гранул приведены в стандартах: в Беларуси СТБ 2027-2010 «Гранулы древесные топливные. Общие технические условия»; за рубежом действует Международный стандарт для древесных гранул ISO 17225-2:2014, который определяет качество пеллет в зависимости от потребителя (частный сектор или промышленные объекты); межгосударственный документ, устанавливающий качественные характеристики топливных гранул ГОСТ 33103.2–2017 «Биотопливо твердое. Технические характеристики и классы топлива. Часть 2. Классификация древесных пеллет».

Требования к топливным брикетам в Беларуси регламентируются СТБ 2055-2010 «Брикеты древесные топливные. Общие технические условия» или межгосударственным стандартом ГОСТ 33103.3–2017 «Биотопливо твердое. Технические характеристики и классы топлива. Часть 3. Классификация древесных брикетов», разработанным на базе международного стандарта ISO 17225-3:2014.

Таблица Лб.1

#### Значения качественных характеристик топливных гранул и брикетов

Наименование показателя	Топливные гранулы	Топливные брикеты
Низшая теплота сгорания, МДж/кг, не менее	17,5	16,9
Влажность, %, не более	12	12
Зольность, %, не более	2,5	1,5
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	500–800	–
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1000–1400	
Механическая прочность (содержание древесной пыли при истирании гранул), %, не более	6,5	–
Массовая доля частично разрушенных брикетов (куски с размером наименьшей стороны не менее 25 мм), %, не более	–	10

В табл. Л6.1 приводятся значения показателей качества древесных топливных гранул и брикетов согласно отечественным ТНПА, СТБ 2027-2010 и 2055-2010. В табл. Л6.2 и Л6.3 представлены качественные показатели этих видов древесного топлива по международным стандартам.

Таблица Л6.2

**Качественные группы топливных гранул**

Наименование показателя	Классы		
	A1	A2	B
Происхождение и источник получения	Древесные стволы; химически не обработанная древесина	Целые деревья без корневой системы; древесные стволы; отходы лесозаготовки; химически необработанные древесные отходы.	Лесные деревья, древесные насаждения и другая природная древесина; побочные продукты и отходы деревообрабатывающей промышленности; химически необработанная древесина
Влажность, %, не более	10	10	10
Зольность, %, не более	0,7	1,2	2,0
Механическая прочность (содержание древесной пыли при истирании гранул), %, не менее	97,5	97,5	96,5
Массовая доля мелочи, %, не более	1,0	1,0	1,0
Добавки, %, не более	2 Указывают тип и количество добавок	2 Указывают тип и количество добавок	2 Указывают тип и количество добавок
Нижняя теплота сгорания, Дж/кг, не менее	16,5	16,5	16,5
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup> , не менее	600	600	600

Таблица Л 6.3

**Сорта топливных брикетов**

Наименование показателя	Классы		
	А1	А2	В <sup>а</sup>
Происхождение и источник получения	Древесные стволы; химически не обработанная древесные отходы	Целые деревья без корневой системы; древесные стволы; отходы лесозаготовки; химически необработанные древесные отходы	Лесные деревья, древесные насаждения и другая природная древесина; побочные продукты и отходы деревообрабатывающей промышленности; химически необработанная использованная древесина.
Влажность, %, не более	12	15	15
Зольность, %, не более	1,0	1,5	3,0
Плотность частиц, г/см <sup>3</sup> , не менее	1,0	0,9	0,9
Добавки, %, не более	2 Указывают тип и количество добавок	2 Указывают тип и количество добавок	2 Указывают тип и количество добавок
Низшая теплота сгорания, МДж/кг, не менее	15,5	15,3	14,9

**Определение теплотворной способности.** Как уже отмечалось в лабораторной работе № 3, одним из важнейших качественных параметров любого топлива является его теплотворная способность. Определять этот показатель можно расчетным путем через значение относительной влажности топлива. Но самое точное определение производится лабораторным путем в калориметрах, где измеряется количество тепла, полученное при полном сгорании одной весовой единицы топлива. Методика выполнения лабораторного анализа и определения теплотворной способности приведена в ГОСТ 147–2013 (ISO 1928:2009) «Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания».



Прибор для определения теплоты сгорания называют калориметрической установкой или калориметром. На рис. Л6.3 приведена принципиальная схема классической калориметрической установки (бомбы) для определения теплоты сгорания твердых топлив.

Бомба калориметрическая для сжигания в сборе представляет собой цилиндрический стакан с завинчивающейся крышкой из кислотоупорной нержавеющей стали вместимостью 250–360 см<sup>3</sup>, выдерживающий давление, которое создается при сжигании навески топлива (до 10,8 МПа). В крышку бомбы вмонтированы клапаны для впуска и выпуска кислорода, а также электроды для подводки тока к запальной проволоке, причем один электрод является одновременно газопроводящей трубкой, а второй – держателем для тигля с навеской. Конструкция бомбы позволяет без затруднений удалять из нее жидкие и твердые продукты сгорания.

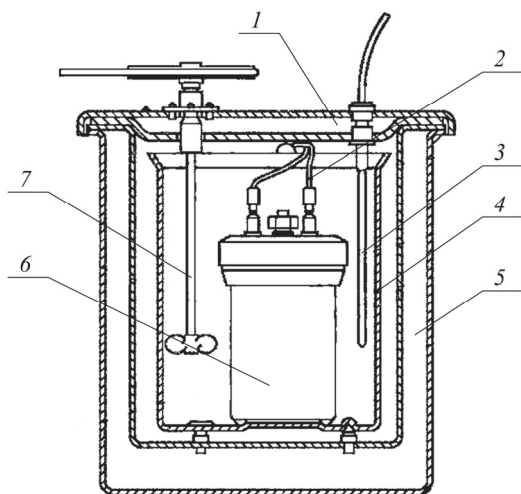


Рис. Л6.3. Калориметрическая бомба:

- 1 – крышка термостата; 2 – контактные провода цепи зажигания;
- 3 – измеритель температуры; 4 – калориметрический сосуд; 5 – термостат;
- 6 – калориметрическая бомба; 7 – мешалка

Сущность метода определения высшей теплоты сгорания при постоянном объеме заключается в полном сжигании навески твердого топлива в атмосфере сжатого кислорода (3 МПа) в герметически закрытом металлическом сосуде – калориметрической бомбе,

которую погружают в определенный объем (или массу) воды, находящейся в калориметрическом сосуде. По увеличению температуры воды в калориметрическом сосуде устанавливают количество теплоты, выделившейся при сгорании топлива и вспомогательных веществ, а также при образовании водных растворов азотной и серной кислот в условиях испытания.

**Оформление результатов работы.** На основании визуального осмотра и обмера представленных образцов древесного топлива, дать их характеристику и определить их соответствие действующим нормативным документам. Результаты представить в виде табл. Л6.4.

Таблица Л6.4

#### Определение характеристик древесного топлива

№ образца	Наименование	Размерные и качественные характеристики	Оценка соответствия требованиям ТНПА	Примечание

### Контрольные вопросы

1. Чем привлекает древесная биомасса как источник энергии?
2. В чем отличие между облагороженным и необлагороженным древесным топливом?
3. Какие требования устанавливаются для древесного топлива действующими нормативно-правовыми документами?
4. Определение теплотворной способности топлива в лабораторных условиях.
5. Какое оборудование используется для сжигания древесного топлива?

## Лабораторная работа № 7 ПИРОЛИЗ. ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВЕСНОГО УГЛЯ

**Цель работы** – изучить основные характеристики древесного угля; влияние различных факторов на процесс производства древесного угля и его показатели качества; основные направления использования древесного угля и способы получения продукции на его основе.

**Оборудование и инструменты:** раздаточный материал; образцы продуктов пиролиза древесины; макеты оборудования для пиролиза древесины.

**Методика выполнения:** подготовка проекта по производству древесного угля на базе лесхоза или лесного склада.

### Дополнительная литература:

1. Раздел 3 теоретической части данного учебно-методического пособия.

2. Уголь древесный. Технические условия: ГОСТ 7657–84. – Введ. 01.01.1986. – М.: ИПК изд-во стандартов, 1986. – 8 с.

3. Тарасов, С. М. Комплексная химическая переработка древесины. Технология лесохимических и гидролизных производств: учеб.-метод. пособие. – М.: ФГБОУ ВО МГУЛ, 2016. – 122 с.

**Древесный уголь** – это микропористый высокоуглеродистый продукт. Содержание нелетучего углерода обычно составляет от 65% (низшие сорта) до 95% (высококачественный). Древесный уголь может использоваться как в исходном виде после пиролиза, так и в качестве сырья для получения брикетированного и активированного угля (рисунок).



Древесный уголь:

*а* – черный; *б* – брикетированный; *в* – активированный

Древесный уголь находит применение в качестве бытового топлива; восстановителя при производстве сплавов металлов и кремния; карбюризатора, использующегося для упрочнения поверхности стальных изделий посредством науглероживания; реагента в производстве сероуглерода, употребляемого при получении искусственных волокон и ускорителей вулканизации каучуков; сорбента (активированный уголь) для химической (очистка газовых и жидких сред), пищевой (очистка отдельных видов продуктов), фармацевтической (очистка лекарственных препаратов) отраслей промышленности, в медицине (энтеросорбент) и других областях.

Ведутся исследования использования древесного угля как промежуточного продукта в технологии производства некоторых видов моторного биотоплива, например диметилового эфира.

Как источник энергии древесный уголь применяется в ограниченных объемах, главным образом для каминов, грилей, национальных японских очагов и других подобных устройств. Как показывает сравнительный анализ, уголь проигрывает древесным гранулам (пеллетам) по степени сохранения энергии исходной древесины.

В уголь переходит только около половины энергии сырья. При этом затраты внешней энергии на производство 1 т древесного угля составляют порядка 43 кВт/т, а на 1 т пеллет – 180 кВт/т. Тепловая ценность древесного угля – 28,7 мДж/кг, а пеллет – 18 мДж/кг. При этом минимальные капиталовложения в предприятие по производству пеллет составляют от 400 000 евро, а в производство древесного угля – от 70 000 евро. Минимальная потребность в сырье для организации рентабельного производства пеллет составляет от 40 тыс. м<sup>3</sup>/год, а угля – от 3 тыс. м<sup>3</sup>/год [49].

Главные преимущества древесного угля при использовании его в энергетических целях заключаются в следующем [50]:

- готовое топливо высокого качества, экологически чистое и безопасное;
- при горении не образует дыма и пламени, давая при этом требуемую температуру;
- высокая теплопроводная способность – 31 000 кДж/кг;
- отсутствие каких-либо вредных веществ.

По сравнению с другими видами топлива древесный уголь также обладает несколькими важными преимуществами (табл. Л17.1).

Таблица Л7.1

**Сравнительная характеристика видов топлива**

Сравнительная характеристика	Дрова	Топливные брикеты	Уголь каменный	Уголь древесный
Теплотворность, ккал/кг	До 3500	До 7700	До 5500	До 8300
Время горения, 1 кг/ч	1	5–8	3	2–3
Остаток, %	2	До 12	До 50	3

На свойства древесного угля и скорость процесса пиролиза влияют:

- порода и качество древесины;
- размеры частиц сырья;
- начальная влажность сырья;
- температура и скорость нагрева древесины во время сушки;
- скорость и температура пиролиза;
- количество воздуха, присутствующего в процессе пиролиза.

В качестве сырья для термической переработки может использоваться как специально заготавливаемая технологическая древесина, так и древесные отходы. В соответствии с ГОСТ 7657–84 в зависимости от сырья древесный уголь вырабатывается трех марок: А – уголь, получаемый при пиролизе древесины твердолиственных пород и березы; Б – уголь, получаемый при пиролизе смеси древесины твердолиственных и мягколиственных пород; В – уголь, получаемый при пиролизе древесины мягколиственных и хвойных пород. Качество древесного угля, как правило, определяется направлением его дальнейшего использования.

При изготовлении древесного угля предпочтение отдается сырью из твердолиственных пород деревьев. Уголь из них получается плотный и прочный. В то же время углевыжигательные заводы работают преимущественно на березовой и буковой древесине, значительно реже – на осиновой. Если принять выход летучих кислот и спиртовых продуктов для березы и других твердолиственных за 100%, то эти выходы для мягколиственных составят приблизительно 75%, а для хвойных – 50%. Выход суммарной смолы для всех пород (в весовом выражении) примерно одинаков с тенденцией к повышению у хвойных (сосна, ель) за счет имеющихся в них естественных смолистых веществ. Весовой выход угля в зависимости от породы древесины также колеблется в сравнительно небольших пределах (33–38%) и значительно больше зависит от режима пиролиза.

Тем не менее в современных условиях для производства древесного угля может использоваться древесина любых пород, а также кустарниковая древесина. Из них тоже можно получить качественный уголь, если не отклоняться от отработанной технологии и брикетировать продукцию [51].

Качество производимого угля будет также зависеть от исходных параметров сырья. Среди характеристик древесины, выделяют следующие параметры.

**Влажность.** В производственных условиях для ретортного процесса существует определенный оптимальный уровень влажности 15–20%. Повышенная влажность приводит к следующим нежелательным последствиям:

- разбавляется пиролизат (жизжка), что осложняет и удорожает его дальнейшую переработку;
- перегружается конденсационно-охладительная система ретортного цеха;
- ухудшается качество угля (трещиноватость), особенно, если процесс ведется с повышенной скоростью или технологическая древесина находится в крупном куске;
- расходуется больше топлива и увеличивается время оборота реторты.

При очень сухой древесине, с влажностью ниже оптимальной, в ретортах с внешним нагревом может произойти схватывание реторты, тогда экзотермическая реакция быстро распространится на всю переугливаемую древесину. В результате в реакционном пространстве могут быстро подняться температура и давление парогазов, что резко ухудшает условия процесса.

Для аппаратов с внутренним обогревом (циркуляционные печи и реторты, газогенераторы и топки-генераторы) нижнего предела влажности не существует, если не считать затруднений при передаче очень сухой древесины в шахту из сушилок, находящихся на линии топливоподачи. Повышенная же влажность также крайне нежелательна, так как очень усложняет технологию переработки парогазовых смесей и в большинстве случаев приводит к образованию вредных сточных вод.

**Содержание гнили.** Выход основных продуктов пиролиза из древесины, поврежденной гнилью, падает, причем особенно резко

снижается удельный выход, отнесенный к единице объема исходного сырья, а весовой выход изменяется значительно меньше. Изменения в химическом составе жижки зависят от типа гнили. При деструктивном типе (поражение целлюлозного комплекса) в жижке падает содержание кислот и веществ углеводного характера. При коррозийном типе (поражение лигнина) снижается в основном выход фенолов и их производных.

Особо неблагоприятно отражается гниль технологической древесины на качестве угля: снижается его механическая прочность и он приобретает повышенную способность к самовозгоранию.

**Наличие коры.** Древесная кора довольно резко отличается составом от стволовой древесины, особенно у лиственных пород. При сухой перегонке наличие коры, особенно березовой, нежелательно, так как она затрудняет процесс сушки, ухудшает санитарное состояние биржи, замедляет процесс разложения и снижает качество угля. Однако окорка дров на заводах обычно не применяется.

**Размерные характеристики.** Теоретически, чем мельче и равномернее измельчена древесина, тем мягче протекает процесс ее термического распада и тем выше выход жидких продуктов. Это положение относится в той или иной мере ко всем видам нагрева, однако особое значение имеет для пиролиза в газовой среде. При больших кусках и, особенно, при наличии кусков разных размеров неизбежно развитие вторичных реакций в периферийной части куска и в реакционном пространстве. Первые могут доходить до термического разложения органических веществ, идущих из глубины куска, на нагретой обуглившейся части его поверхности, вторые определяются разницей между температурой образования продуктов пиролиза и температурой реакционного пространства.

Большие куски древесины используются в производстве для первичных аппаратов всех типов. Для реторт и печей применяют колотые дрова с размером торцевой поверхности 25–30 см. Дальше древесину не измельчают, так как это приводит к дополнительным затратам электроэнергии и рабочей силы, к потерям древесины в виде опилок, а также дает уголь, не отвечающий по размерам требованиям ГОСТа. Но измельчение древесины ведет к повышению производительности пиролизных аппаратов.

Для генераторов и топок-генераторов применяется древесная щепа, однако и здесь степень измельчения имеет некоторый предел. Этим пределом является измельчение, которое приводит к уносу древесины из шахт и затрудняет движение газовых потоков в результате слеживания мелкой древесины. Так, до сих пор считается, что присадка опилок к щепе для аппаратов упомянутого типа не должна превышать 40–50%.

*Технические требования к древесному углю, его физические и химические свойства.* В хорошем древесном угле сохраняется структура древесины, в торцах кусков угля, особенно хвойного, должны быть отчетливо видны годовичные слои. Хороший древесный уголь должен быть прочным, блестящего черного цвета, иметь мало радиальных трещин и издавать при постукивании звонкий звук, гореть без запаха и дыма.

Древесный уголь гигроскопичен, он легко набирает влагу из воздуха, особенно быстро во время дождя и при хранении в низких влажных и затопляемых местах без настила. Поэтому древесный уголь должен храниться в крытых помещениях или под навесом на настиле или поддонах, на возвышенном сухом участке.

К основным качествам угля относится прочность, снижающая потери при погрузочно-разгрузочных работах с ним и перевозке. Значительное влияние на прочность оказывает порода древесины. Например, наиболее прочным является березовый уголь, менее прочным – сосновый и осиновый; наиболее прочный из стволовой части крупных деревьев и менее прочным из сучков. Основные физические и химические показатели качества древесного угля представлены в табл. Л7.2.

Таблица Л7.2

#### Химический состав и физические свойства древесного угля

Наименование показателя	Ед. измер.	Показатель
Углерод	%	72–95
Кислород		5–15
Фосфор		0,016–0,037
Водород		4,0–4,8
Летучие вещества		3–20
Зола		Не более 3
Влага		4–15



Окончание табл. Л7.2

Наименование показателя	Ед. измер.	Показатель
Удельная теплота сгорания (калорийность)	Ккал/кг	7000–8100
Плотность (кажущаяся плотность)	кг/м <sup>3</sup>	260–380
Истинная плотность	кг/м <sup>3</sup>	130–150
Удельная поверхность	м <sup>2</sup> /г	160–400
Вес		Около 210 г – 1 л, от 100 до 500 кг – 1 м <sup>3</sup>
Пористость	%	72–80
Средняя удельная теплоемкость	кДж/(кг·К)	0,69–1,21 (при 24 и 560°С)
Теплопроводность	Вт/(м·К)	0,058

Качество угля определяется по ГОСТ 7657–94. Различают уголь древесный марок А, Б, В; уголь мелкий (частицы размером менее 12 мм) нестандартный; брикеты древесноугольные. Стандарт регламентирует плотность; содержание золы, нелетучего углерода, влаги, мелочи с размерами частиц менее 25 и 12 мм.

В зависимости от направления использования к зольности угля предъявляются разные требования. В угле для промышленных целей зольность не должна превышать 3%. В бытовом угле в ряде стран допускается до 6% золы, в других этот показатель не нормируется. Существуют потребители, готовые использовать уголь с более высокой зольностью, но почти все жестко ограничивают или не допускают содержания в нем серы и фосфора, а некоторые – и солей железа.

Таблица Л7.3

## Исходные данные

№ в-та	Вид сырья для производства древесного угля	Порода сырья	№ в-та	Вид сырья для производства древесного угля	Порода сырья
1	Тонкомерная древесина	8С2Е	14	Тонкомерная древесина	8С2Е
2	Кусковые отходы лесопиления	10Б	15	Кусковые отходы лесопиления	5С5Е
3	Дровяная древесина	6Б2Е2С	16	Дровяная древесина	5Ос5Ол
4	Низкокачественная древесина	5С3Е2Б	17	Низкокачественная древесина	5С3Е2Б
5	Лесосечные отходы	3С3Е24Ол	18	Лесосечные отходы	3С3Е24Ол

Окончание табл. Л7.3

№ в-та	Вид сырья для производства древесного угля	Порода сырья	№ в-та	Вид сырья для производства древесного угля	Порода сырья
11	Тонкомерная древесина	8С2Е	24	Тонкомерная древесина	8С2Е
6	Тонкомерная древесина	6Б2Е2Ол	19	Тонкомерная древесина	8С2Е
7	Кусковые отходы лесопиления	10С	20	Кусковые отходы лесопиления	5Б5Ос
8	Дровяная древесина	6С4Е	21	Дровяная древесина	6С2Е2Б
9	Низкокачественная древесина	5С3Е2Б	22	Низкокачественная древесина	5С3Е2Б
10	Лесосечные отходы	3С3Е24Ол	23	Лесосечные отходы	3С3Е24Ол
12	Кусковые отходы лесопиления	10Е	25	Кусковые отходы лесопиления	10Б
13	Дровяная древесина	5Б3Ол2Ос	26	Дровяная древесина	6Б2Е2С

**Задание и оформление результатов работы.** На основании изучения характеристик сырья и готовой продукции при пиролизе древесины, а также применяемых технологий и оборудования для производства древесного угля, разработать проект цеха по получению данного вида продукции. Для разработки проекта принять исходные данные из табл. Л7.3.

### Контрольные вопросы

1. Что такое пиролиз? Этапы термического разложения древесины.
2. Продукты пиролиза и область их использования.
3. Что такое древесный уголь? Какие характеристики древесного угля определяют его качество?
4. Технология производства древесного угля.
5. Оборудование для производства древесного угля: классификация и требования.
6. Технологический процесс производства брикетированного и активированного угля.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

**Приемо-сдаточный акт по древесному топливу (сырью) № \_\_\_\_\_**

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

1-й экз. – грузополучателю

2-й экз. – грузоотправителю

(3-й экз. – транспортной организации)

\_\_\_\_\_  
электростанция, код

Грузополучатель \_\_\_\_\_ УНП \_\_\_\_\_  
(наименование, адрес)

Банк \_\_\_\_\_  
(наименование, р/счет, МФО, адрес)

Грузоотправитель \_\_\_\_\_ УНП \_\_\_\_\_  
(наименование, адрес)

Банк \_\_\_\_\_  
(наименование, р/счет, МФО, адрес)

Вид транспорта \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_ номер путевого листа \_\_\_\_\_

Владелец транспорта \_\_\_\_\_

Погрузка \_\_\_\_\_

Расстояние \_\_\_\_\_

Удостоверение радиационной безопасности № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Товарно-транспортная накладная № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Поставщиком \_\_\_\_\_, в лице \_\_\_\_\_ произведена передача \_\_\_\_\_ (наименование топлива (сырья) в объеме (количестве) \_\_\_\_\_, грузополучателем \_\_\_\_\_, в лице \_\_\_\_\_ принято \_\_\_\_\_ (наименование топлива (сырья) в объеме \_\_\_\_\_ и массе \_\_\_\_\_.

Груз сдал \_\_\_\_\_ (Ф. И. О.) по доверенности № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_  
(подпись)

Груз принял \_\_\_\_\_ (Ф. И. О.) по доверенности № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_  
(подпись материально-ответственного лица)

Руководитель организации-грузоотправителя \_\_\_\_\_ (Ф.И.О.)  
МП \_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель организации-грузополучателя \_\_\_\_\_ (Ф.И.О.)  
МП \_\_\_\_\_ (подпись)

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Квитанция-счет к приемо-сдаточному акту для расчетов с поставщиками древесного топлива (сырья) (протокол согласования цен)\*

Древесное топливо (сырье) \_\_\_\_\_  
(вид)

Приемо-сдаточный акт № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Грузоотправитель (поставщик) \_\_\_\_\_

Номер и дата ТТН-1 \_\_\_\_\_

Проба № \_\_\_\_\_ отобрана «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

и отработана «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

№ п/п	Наименование	Обозначение	Единица измерения	Значение (вид)
1	Древесное топливо (сырье)	–	–	
2	Фактический объем поступившего топлива (сырья)			
2.1	– в складочных (насыпных), м <sup>3</sup>	$V_{скл}$	скл. м <sup>3</sup>	
2.2	– в плотных, м <sup>3</sup>	$V_{пл}$	пл. м <sup>3</sup>	
3	Фактическая масса поступившего топлива (сырья)			
3.1	– брутто	$G_{бр}$	т	
3.2	– тара (транспортное средство)	$G_{тар}$	т	
3.3	– нетто	$G_{нет}$	т	
4	Насыпная плотность: $\rho_{насып} = G_{нет} / V_{ск}$	$\rho_{насып}$	т / скл. м <sup>3</sup>	
5	Плотность: $\gamma = G_{нет} / V_{пл}$	$\gamma$	т / пл. м <sup>3</sup>	
6	Относительная влажность топлива (сырья)	$W_r$	%	
7	Энергетическая ценность топлива (сырья): $Q_{вес} = 18,7 - 0,212 \cdot W_t$	$Q_{вес}$	ГДж/т	

8	Цена 1 т условного топлива с калорийностью 29,31 ГДж/т (согласно договору)	$C_{\text{усл}}$	руб./т у. т.
9	Цена 1 т натурального топлива (сырья), поступившего с влажностью $W_t$ $C_{\text{вл}} = C_{\text{усл}} \cdot Q_{\text{вес}} / 29,31$	$C_{\text{вл}}$	руб./т
10	Цена 1 складочного (насыпного) м <sup>3</sup> топлива (сырья), поступившего с влажностью $W_t$ $C_{\text{скл}} = C_{\text{вл}} \cdot G_{\text{нет}} / V_{\text{ск}}$	$C_{\text{скл}}$	руб./скл. м <sup>3</sup>
11	Цена 1 плотного м <sup>3</sup> топлива (сырья), поступившего с влажностью $W_t$ $C_{\text{пл}} = C_{\text{вл}} \cdot G_{\text{нет}} / V_{\text{пл}}$	$C_{\text{пл}}$	руб./пл. м <sup>3</sup>
12	Суммарная стоимость поступившего топлива (сырья) без НДС: $C_{\text{без НДС}} = C_{\text{пл}} \cdot V_{\text{пл}}$	$C_{\text{без НДС}}$	руб.
13	Ставка НДС	–	
14	Сумма НДС	НДС	%
15	Суммарная стоимость поступившего топлива с НДС: $C_{\text{с НДС}} = C_{\text{без НДС}} + \text{НДС}$	$C_{\text{с НДС}}$	руб. руб.

\*Возвращается грузополучателю одновременно с приемо-сдаточным актом.

Итого без НДС \_\_\_\_\_ руб.

НДС \_\_\_\_\_ руб.

Всего с НДС \_\_\_\_\_ руб.

Руководитель организации-покупателя \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О.)

Главный бухгалтер \_\_\_\_\_  
МП (подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель организации-поставщика \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О.)

Главный бухгалтер \_\_\_\_\_  
МП (подпись) (Ф.И.О.)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2023. – Минск: РУП «Белгослес», 2023. – 87 с.
2. Программа развития в Республике Беларусь пеллетных производств: утв. постановлением М-ва лесного хозяйства Респ. Беларусь от 12.12.2019 № 18. – Режим доступа: <https://mlh.by/documents/>. – Дата доступа: 07.10.2021.
3. Реализация лесопродукции. Официальный сайт М-ва лесного хозяйства Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://mlh.by/our-main-activites/forest/eksport-lesoproduktsii/>. – Дата доступа: 07.10.2021.
4. Заготовка и переработка древесных лесных ресурсов. Официальный сайт М-ва лесного хозяйства Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://www.mlh.by/our-main-activites/forest/zagotovka-i-ispolzovanie-drevesnykh-lesnykh-resurov/>. – Дата доступа: 29.11.2022.
5. Председатель концерна «Беллесбумпром» Михаил Касько. О модернизации в деревообработке и импортозамещении // Беларусь сегодня от 11.11.2021. – Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/videt-za-lesom-perspektivu.html>. – Дата доступа: 16.11.2021.
6. О результатах реализации мероприятий Государственной программы «Белорусский лес» на 2016–2020 годы в 2019 году и за 2016–2019 годы: краткий отчет. – Режим доступа: <https://mlh.by/documents/>. – Дата доступа: 16.11.2021.
7. Технология и оборудование лесохимических производств / Л. Ф. Гордон [и др.]. – М.: Лесная пром-сть, 1979. – 288 с.
8. ФАО. Глобальная оценка лесных ресурсов 2020 года. Основные выводы. – Рим, 2020. – Режим доступа: <https://doi.org/10.4060/ca8753ru>. – Дата доступа: 18.11.2021.
9. UNECE / FAO. Forest Products. Annual Market Review 2021–2022. – Geneva, 2022. – Режим доступа: <https://unece.org/info/publications/pub/361907>. – Дата доступа: 12.09.2023.
10. Global forest sector outlook 2050: Assessing future demand and sources of timber for a sustainable economy – Background paper for The State of the World’s Forests 2022. FAO Forestry Working Paper, No. 31. – Rome: Provisional, 2022. – <https://doi.org/10.4060/cc2265en>.

11. Древесное топливо. Базовые знания. – Режим доступа: <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/wood-energy/basic-knowledge/en/?type=111>. – Дата доступа: 11.01.2021.

12. Wood Pellets Market Size, Share & Trends Analysis Report, 2022–2030. – Режим доступа: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/wood-pellets-market#:~:text=The%20global%20wood%20pellets%20market,5.5%25%20from%202022%20to%202030>. – Дата доступа: 29.11.2022.

13. Global Wood Pellet Market – Forecasts from 2020 to 2025: Report. – Knowledge Sourcing Intelligence LLP, 2020. – 130 p.

14. Wood Based Panels Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast, 2022–2027. – Режим доступа: <https://www.imarcgroup.com/wood-based-panels-market>. – Дата доступа: 29.11.2022.

15. Thoemen, H. Wood-based panel / H. Thoemen, M. Irlle, M. Sernek. – Brunel University Press, 2010. – 152 p.

16. FAO. Global forest products: facts and figures. – Режим доступа: <http://www.fao.org/3/ca7415en/ca7415en.pdf>. – Дата доступа: 12.01.2020.

17. The wood from the trees: The use of timber in construction / M. H. Ramage [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Vol. 68, part 1. – 2017. – P. 333–359.

18. Oliver, R. Efforts to promote use of wood in the EU region / R. Oliver, D. Venables // Forest Industries Intelligence Limited: North Yorkshire, United Kingdom, 2012. – 84 p.

19. 2017. The wood from the trees: The use of timber in construction / M. H. Ramage [et al.] // Renew Sustain Energy. – 2018. – Rev 68 (Part 1). – P. 333–359.

20. The future of wooden multistory construction in the forest bio-economy – A Delphi study from Finland and Sweden / A. Toppinen [et al.] // Journal of Forest Economics. – 2017. – No. 31 (1). – P. 3–10.

21. Not Just Lumber – Using Wood in the Sustainable Future of Materials, Chemicals, and Fuels / J. E. Jakes [et al.] // The Journal of The Minerals, Metals and Materials Society. – No. 68. – 2016. – P. 2395–2404. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11837-016-2026-7>.

22. Diversification of the forest industries: role of new wood-based products / E. Hurmekoski [et al.] // Can. J. For. Res. – No. 48. – 2018. – P. 1417–1432.

23. Bidy, M. J. Chemicals from Biomass: A Market Assessment of Bioproducts with Near-Term Potential: Technical Report / M. J. Bidy, C. Scarlata, C. Kinchin. – Denver: National Renewable Energy Laboratory, 2016. – 131 p.

24. Hämäläinen, S. Forest biorefineries – A business opportunity for the Finnish forest cluster / S. Hämäläinen, A. Näyhä, H. Pesonen // *J. Clean. Prod.* – 2011. – No. 19. – P. 1884–1891. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.01.011>. – Дата доступа: 03.12.2021.

25. The Green Integrated Forest Biorefinery: An innovative concept for the pulp and paper mills / T. Rafione [et al.] // *Appl. Therm. Eng.* – 2014. – No. 73. – P. 74–81.

26. Bozell, J. J. Technology development for the production of biobased products from biorefinery carbohydrates – the US Department of Energy's «Top 10» revisited / J. J. Bozell, G. R. Petersen // *Green Chem.* – 2010. – No. 12. – P. 539–554. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1039/b922014c>. – Дата доступа: 06.12.2021.

27. Adewale, P. Thermal and Rheological Properties of Crude Tall Oil for Use in Biodiesel Production / P. Adewale, L. P. Christopher // *Processes.* – 2017. – No. 5. – P. 59–70. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/pr5040059>. – Дата доступа: 08.12.2021.

28. Ignatius, H. Wood-based biochemical innovation systems: challenges and opportunities: Master's thesis / H. Ignatius. – University of Helsinki, 2019. – 82 p.

29. Шишелов, М. А. Оценка эффективности лесопромышленного комплекса на основе расчета показателя добавленной стоимости (на примере Республики Коми) / М. А. Шишелов // *Проблемы прогнозирования.* – 2017. – Т. 8. – № 3. – С. 278–285.

30. Sathre, R. Process-based analysis of added value in forest product industries / R. Sathre, L. Gustavsson // *Forest Policy and Economics.* – 2009. – No. 11. – P. 65–75.

31. Мохирев, А. П. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса как фактор устойчивого природопользования / А. П. Мохирев, Ю. А. Безруких, С. О. Медведев // *Инженерный вестник Дона.* – 2015. – Ч. 2, № 2. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n2p2y%202015/3011>. – Дата доступа: 15.02.2021.

32. Азаров, В. И. Химия древесины и синтетических полимеров: учеб. для вузов / В. И. Азаров, А. В. Буров, А. В. Оболенская. – СПб.: СПбЛТА, 1999. – 628 с.



33. Варанкина, Г. С. Основы комплексной переработки древесного сырья: учеб. пособие / Г. С. Варанкина, А. Н. Чубинский. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 61 с.

34. Федоренчик, А. С. Классификация древесного топлива / А. С. Федоренчик, А. В. Ледницкий, Г. И. Завойских // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2009. – Вып. XVII. – С. 14–18.

35. Справочник потребителя биотоплива / под ред. Виллу Вареса. – Таллинн, 2005. – 183 с.

36. Лесная биоэнергетика: учеб. пособие / под ред. Ю. П. Семёнова. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – 348 с.

37. Никитин, В. М. Химия древесины и целлюлозы / В. М. Никитин. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1960. – 468 с.

38. Кривоногова, А. С. Совершенствование технологии подготовки древесины мягких лиственных пород для производства угля высокого качества: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / А. С. Кривоногова. – СПб., 2015. – 147 с.

39. Волынский, В. Переработка и использование древесной коры / В. Волынский // ЛесПромИнформ. – 2012. – № 2. – Режим доступа: <https://lesprominform.ru/articles.html?id=2640>. – Дата доступа: 08.01.2021.

40. Ледницкий, А. В. Методические подходы к оценке эффективности переработки древесного сырья на предприятиях деревообрабатывающей промышленности / А. В. Ледницкий, А. В. Саков // Труды БГТУ. Сер. 5, Экономика и управление. – 2018. – № 2. – С. 52–56.

41. Арсенов, В. С. Комплексное использование древесины в малолесных районах / В. С. Арсенов, А. П. Петров. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1977. – 177 с.

42. Лукашук, Н. А. Методы оценки эффективности переработки древесного сырья // Труды БГТУ. Сер. VII, Экономика и управление. – 2006. – Вып. XIV. – С. 185–188.

43. Лукашук, Н. А. Совершенствование отраслевой структуры лесопромышленного комплекса как фактор повышения эффективности его деятельности // Труды БГТУ. Сер. VII, Экономика и управление. – 2008. – Вып. XVI. – С. 234–236.

44. Кожемяко, Н. П. Методический подход к оценке эффективности использования лесных ресурсов, выделяемых под реализацию

приоритетных инвестиционных проектов в области освоения лесов // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. – 2011. – № 4. – С. 227–230.

45. Вторичные материальные ресурсы лесной и деревообрабатывающей промышленности (Образование и использование): справочник / сост.: В. С. Васильев [и др.]. – М.: Экономика, 1983. – 217 с.

46. Технология и оборудование комплексного использования древесного сырья. Практикум: учеб.-метод. пособие / А. С. Федоренчик [и др.]. – Минск: БГТУ, 2013. – 195 с.

47. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) / под ред. Н. В. Кузнецова [и др.]. – М.: Энергия, 1973. – 296 с.

48. Инструкция по учету древесного топлива на электрических станциях и котельных: СТП 09110.09.116-06. – Введ. 01.08.2007 / ГПО «Белэнерго». – Минск: РУП «БелТЭИ», 2007. – 68 с.

49. Углевыхигательная печь непрерывного действия. – Режим доступа: <https://professional.ru/Soobschestva/sotrudnichestvo/uglyevyzhigatelnyaya-ryech-nyepryyuvnogo-92343165/>. – Дата доступа: 02.02.2021.

50. Современное состояние производства древесного угля / Н. Ф. Тимербаев [и др.] // Проблемы энергетики. – 2017. – Т. 19, № 7–8. – С. 13–20.

51. Юдкевич, Ю. Д. Производство древесного угля / Ю. Д. Юдкевич // Леспроминформ. – 2010. – № 3 (69). – Режим доступа: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=1246>. – Дата доступа: 01.02.2021.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ЧАСТЬ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ.....	6
Раздел 1. Характеристика лесного комплекса Республики Беларусь и направления использования древесного сырья ....	6
1.1. Основные направления комплексного использования древесного сырья.....	13
1.2. Международная практика использования древесного сырья .....	17
1.3. Понятие «добавленной стоимости» в лесопромышленном производстве .....	37
Раздел 2. Дополнительное древесное сырье в лесопромышленном и деревообрабатывающем производстве	43
Раздел 3. Способы и технологии переработки вторичного древесного сырья .....	50
3.1. Щепа как основа комплексного использования древесного сырья .....	50
3.2. Энергетическое использование древесного сырья .....	53
3.2.1. Классификация древесного топлива .....	57
3.2.2. Физико-химические и теплофизические показатели древесного топлива .....	59
3.2.3. Оборудование для сжигания древесного топлива .....	65
3.3. Производство древесных плит.....	77
3.4. Производство строительных материалов .....	95
3.5. Пиролиз древесины .....	109
3.6. Производство товаров народного потребления .....	122
3.7. Переработка коры и древесной зелени .....	126
Раздел 4. Экономические основы определения целесообразности внедрения технологий комплексного использования древесного сырья .....	131
4.1. Методы определения экономически доступных ресурсов отходов .....	131
4.1.1. Показатели экономической доступности ресурсов отходов .....	131
4.1.2. Метод пообъектного расчета при наличии информации о расположении возможных потребителей щепы	134

4.1.3. Метод пообъектного расчета при отсутствии информации о размещении потребителей щепы.....	135
4.1.4. Метод графических схем .....	135
4.2. Экономические показатели производств по переработке древесных отходов .....	138
4.2.1. Общие экономические показатели .....	138
4.2.2. Методы оценки экономической эффективности использования отходов.....	143
<b>ЧАСТЬ 2. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ .....</b>	<b>152</b>
Лабораторная работа № 1. Характеристика древесных отходов и определение их основных параметров и свойств .....	152
Лабораторная работа № 2. Анализ качества щепы .....	165
Лабораторная работа № 3. Исследование теплофизических свойств топливной щепы. Показатель теплотворной способности .....	177
Лабораторная работа № 4. Внутриводской транспорт щепы. Перевозка, сортировка и хранение щепы .....	187
Лабораторная работа № 5. Исследование характеристик древесных композиционных материалов на основе минеральных вяжущих .....	227
Лабораторная работа № 6. Древесное топливо .....	238
Лабораторная работа № 7. Пиролиз. Производство древесного угля.....	247
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....	255
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....	256
ЛИТЕРАТУРА .....	258

Учебное издание

**Мохов** Сергей Петрович  
**Протас** Павел Александрович  
**Мисуно** Юлия Игоревна

**КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ**

Учебно-методическое пособие

Редактор *Р. М. Рябая*  
Компьютерная верстка *П. М. Никитина*  
Дизайн обложки *П. М. Никитина*  
Корректор *Р. М. Рябая*

Подписано в печать 18.09.2023 Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.  
Усл. печ. л. 15,4. Уч.-изд. л. 15,9.  
Тираж 150 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:  
УО «Белорусский государственный технологический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/227 от 20.03.2014.  
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.