



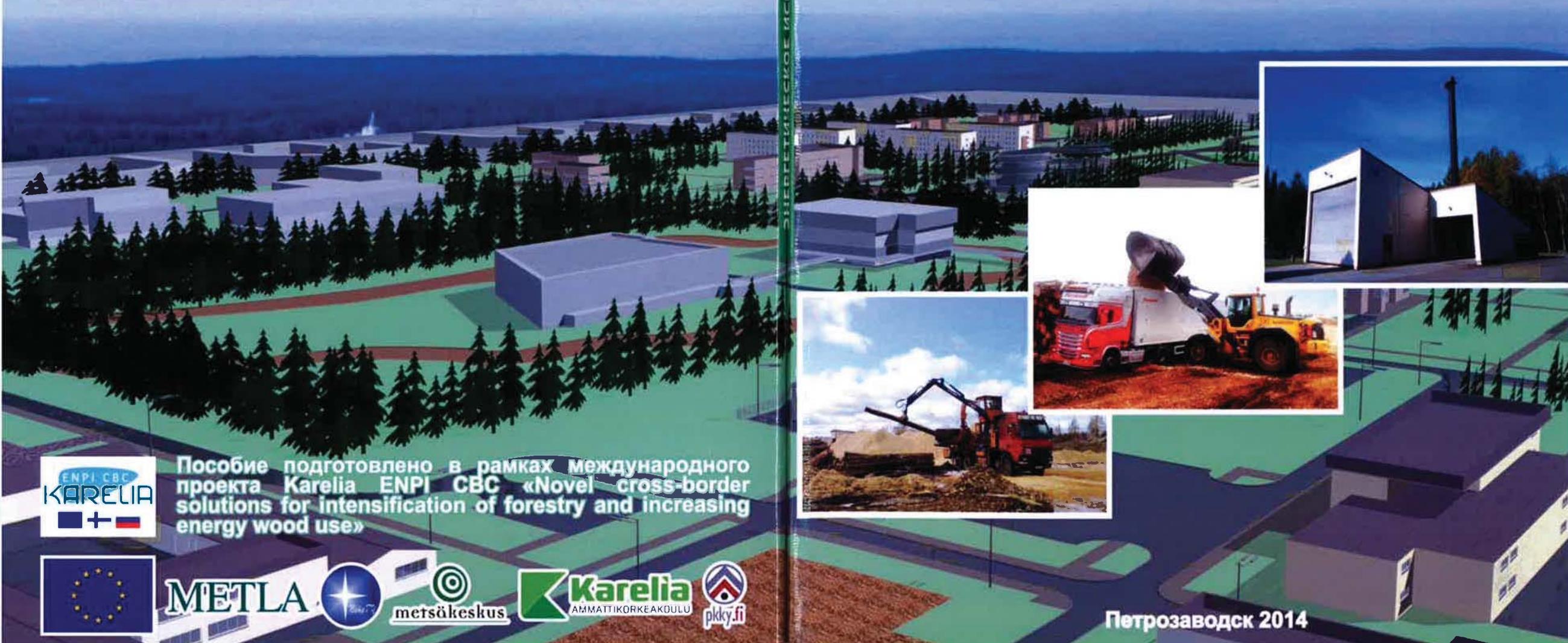
В данном пособии на основе обобщения отечественного и зарубежного опыта представлено системное описание технологий энергетического использования древесной биомассы.

Достаточно подробно изложен принцип работы и характеристики машин и оборудования, которые применяются на заготовке биоэнергетического сырья, а также при транспортировке и сжигании твердого биотоплива.



Энергетическое использование древесной биомассы:

заготовка, транспортировка, переработка и сжигание



Пособие подготовлено в рамках международного проекта Karelia ENPI CBC «Novel cross-border solutions for intensification of forestry and increasing energy wood use»



METLA



metsäkeskus

Karelia
AMMATTIKORKEAKOULU



Петрозаводск 2014

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ: ЗАГОТОВКА, ТРАНСПОРТИРОВКА, ПЕРЕРАБОТКА И СЖИГАНИЕ

*Учебное пособие для студентов
высших учебных заведений,
обучающихся по направлениям подготовки
«Лесное дело», «Технологические машины и оборудование»
и «Технология лесозаготовительных
и деревоперерабатывающих производств»*

Петрозаводск
Издательство ПетрГУ
2014

УДК 630
ББК 43.90
Э651

Авторы-составители:
В. С. Сюнёв, А. В. Питухин, С. Б. Васильев,
О. Н. Галактионов, А. В. Кузнецов, А. А. Селиверстов,
Ю. В. Суханов, В. С. Холодков

Рецензенты:
заведующий кафедрой технологии и оборудования
лесопромышленных производств
Поволжского государственного университета,
заслуженный деятель наук РФ, профессор,
д-р техн. наук Ю. А. Ширнин;
директор Регионального центра трансфера технологий ПетрГУ,
заслуженный работник лесного комплекса РК П. Е. Мощевикин

**Энергетическое использование древесной биомассы: заготовка, транс-
Э651 портировка, переработка и сжигание** : учебное пособие для студентов высш.
учебных заведений / авт.-сост. В. С. Сюнёв [и др.]. — Петрозаводск : Изда-
тельство ПетрГУ, 2014. — 123 с.

ISBN 978-5-8021-2233-4

В пособии на основе обобщения отечественного и зарубежного опыта представлено системное описание технологий энергетического использования древесной биомассы. Достаточно подробно изложены принцип работы и характеристики машин и оборудования, которые применяются на заготовке биоэнергосырья, при транспортировке и сжигании твердого биотоплива.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки «Лесное дело», «Технологические машины и оборудование» и «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств».

Пособие подготовлено при поддержке международного научного проекта «Новые трансграничные решения в области интенсификации ведения лесного хозяйства и повышения степени использования топливной древесины в энергетике» по программе приграничного сотрудничества в рамках Европейского инструмента соседства и партнерства «Карелия» (Karelia ENPI CBC) и Программы стратегического развития Петрозаводского государственного университета.

УДК 630
ББК 43.90

ISBN 978-5-8021-2233-4

© Сюнёв В. С., Питухин А. В., Васильев С. Б.,
Галактионов О. Н., Кузнецов А. В., Селиверстов А. А.,
Суханов Ю. В., Холодков В. С., авт.-сост., 2014
© Петрозаводский государственный университет, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ЗАГОТОВКА ДРЕВЕСНОГО БИОЭНЕРГОСЫРЬЯ	7
1.1. Виды и характеристики биоэнергосырья	7
1.1.1. Классификация древесной биомассы и объемы ее образования.	9
1.1.2. Методы учета древесной биомассы.	15
1.2. Технологические цепочки заготовки биоэнергосырья.	16
1.2.1. Технология производства топливной щепы при сплошнолесосечной сортиментной заготовке	19
1.2.2. Технология производства топливной щепы при заготовке тонкомерной древесины	21
1.2.3. Технология производства топливной щепы из пнево-корневой древесины	23
1.2.4. Технологическая цепочка производства топливной щепы при концентрации древесной биомассы на верхнем складе (погрузочной площадке)	24
1.3. Машины и механизмы на заготовке и переработке древесной биомассы	26
1.3.1. Бензиномоторные пилы	26
1.3.2. Кусторезы	28
1.3.3. Харвестерные и валочные головки	29
1.3.4. Мобильные (передвижные) рубительные машины	35
1.3.5. Заготовка пнево-корневой древесины (корчеватели).	43
1.4. Концентрация, пакетирование и транспортировка лесосечных отходов. Машины и механизмы	45
1.4.1. Машины для повышения концентрации лесосечных отходов	46
1.4.2. Транспортные лесные машины на базе форвардера	47
1.4.3. Пакетировщики-упаковщики	49
1.5. Автопоезда для транспортировки щепы	50
2. ПРОИЗВОДСТВО И ХРАНЕНИЕ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА	53
2.1. Производство дров.	53
2.1.1. Сырье. Виды, основные параметры, ресурсы.	53
2.1.2. Продукция. Форма, влажность	54
2.1.3. Стандарты. Качественные характеристики.	54
2.1.4. Технологические операции на заготовке дров.	56
2.1.5. Оборудование на заготовке дров	58
2.1.6. Транспортировка дров.	62
2.1.7. Хранение и штабелевка дров	65

2.2. Технология производства щепы	67
2.2.1. Сырье для производства щепы.	68
2.2.2. Продукция. Стандарты. Характеристики	68
2.2.3. Технологические операции	69
2.2.4. Оборудование для производства щепы	71
2.3. Технология производства топливных гранул (пеллет).	73
2.3.1. Сырье для производства топливных гранул (пеллет)	73
2.3.2. Продукция. Стандарты. Характеристики	73
2.3.3. Технологические операции	74
2.3.4. Оборудование, применяемое для производства топливных гранул (пеллет)	75
2.3.5. Транспортировка и хранение.	75
2.4. Технология производства брикетов	76
2.4.1. Сырье для производства топливных брикетов	76
2.4.2. Продукция. Стандарты. Характеристики	77
2.4.3. Технологические операции и оборудование	78
3. ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ ТВЕРДОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА . .	81
3.1. Особенности древесной биомассы как топлива	81
3.1.1. Влажность	84
3.1.2. Зольность	85
3.1.3. Плотность	87
3.1.4. Элементный состав	88
3.1.5. Теплота сгорания древесной биомассы.	89
3.1.6. Жаропродуктивность древесного топлива.	90
3.2. Теория процесса горения древесины	90
3.2.1. Стадии сжигания	90
3.2.2. Этапы горения древесины	92
3.2.3. Потери теплоты при горении и коэффициент полезного действия	95
3.2.4. Факторы, характеризующие эффективность процесса горения.	95
3.3. Технологии энергетического использования древесного топлива. . .	96
3.3.1. Прямое сжигание древесины	97
3.3.2. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии.	98
3.3.3. Выработка тепловой энергии	98
3.4. Сжигание древесного топлива и основные типы топочных устройств	99
3.5. Технологии хранения, транспортировки и сжигания щепы.	108
3.5.1. Оборудование котельной для сжигания щепы	108
3.5.2. Оборудование для складирования и подачи топлива	111
3.5.2.1. Оборудование топливного склада	111
3.5.2.2. Оборудование для подачи топлива с автоматического склада.	113
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	115

ВВЕДЕНИЕ

Поиск и эффективное использование альтернативных источников энергии в последние десятилетия становятся одними из важнейших научно-технических задач, решаемых мировым сообществом.

Перспектива замены традиционных источников энергии — угля, нефти, газа, запасы которых являются невозполнимыми, — ядерным топливом в ряде стран ставится под сомнение. Несмотря на высокую экономическую эффективность ядерной энергетики, обеспечение ее безопасности зачастую становится определяющим фактором при принятии решений по строительству ядерных станций.

В этой связи многие страны проводят интенсивные исследования по развитию энергетики, основанной на использовании возобновляемых природных ресурсов, в первую очередь древесины. Данное направление получило название биоэнергетика, а используемое для производства энергии топливо — биотопливо.

Древесина традиционно использовалась человеком в качестве основного источника получения тепловой энергии на протяжении тысячелетий развития цивилизации. Ее применение в таком качестве практически не прекращалось, особенно в регионах, имеющих достаточно высокие запасы лесных ресурсов. Данное обстоятельство позволило рассматривать древесину как биотопливо при развитии альтернативной энергетики на промышленной основе.

Сегодня древесина как твердое топливо используется в виде дров, щепы, топливных гранул (пеллет) или брикетов. Дрова являются традиционным видом топлива. И несмотря на то, что их использование для промышленных нужд постоянно снижается, потребность в дровах будет сохраняться. Это обусловлено в первую очередь развитием индивидуального строительства, повышением благосостояния и ростом эстетических потребностей людей, стремящихся иметь в своих жилищах современные печи и камины.

Щепа — измельченная древесина — находит наиболее широкое применение в современных промышленных энергетических установках, работающих на биотопливе. Как правило, ее производство основано на переработке отходов лесозаготовительного производства.

Топливные гранулы и брикеты вырабатываются в основном из отходов деревоперерабатывающих производств и используются как для промышленных нужд, так и в бытовых целях для отопления зданий.

Каждый вид древесного биотоплива предполагает применение определенных технологий его производства, транспортировки, хранения и использования (сжигания).

В данном учебном пособии на основе обобщения отечественного и зарубежного, в первую очередь финского, опыта авторы предприняли попытку системного описания рассматриваемых технологий и применяемого оборудования. Написанию пособия предшествовала большая работа по изучению состояния и перспектив использования биотоплива на примере Финляндии. Авторы выражают благодарность специалистам НИИ леса Финляндии (METLA), Университета Восточной Финляндии и Университета прикладных наук Северной Карелии (г. Йоэнсуу, Финляндия), Лесного центра Финляндии и финского лесного колледжа Валtimo за организацию и возможность участия в научных семинарах, тренингах и экскурсиях, связанных с биоэнергетикой.

Пособие подготовлено при поддержке международного научного проекта «Новые трансграничные решения в области интенсификации ведения лесного хозяйства и повышения степени использования топливной древесины в энергетике» по программе приграничного сотрудничества в рамках Европейского инструмента соседства и партнерства «Карелия» (Karelia ENPI CBC) и Программы стратегического развития Петрозаводского государственного университета.

1.1. Виды и характеристики биоэнергосырья

Древесная биологическая масса — это общее количество вещества, составляющее растущее дерево. Биомасса образуется в процессе фотосинтеза из веществ, содержащихся в почве и атмосфере, под действием солнечного света. Биомасса дерева является одним из немногих видов возобновляемого сырья на Земле.

Согласно данным [28], в общей биомассе отводимого в рубку леса древесина составляет 82 %, кора 15 %, древесная зелень 3 %. Биомасса в растущем дереве распределена неравномерно (рис. 1.1). Наибольшая доля (до 65 %) приходится на ствол, который является основным объектом лесозаготовительного производства. Вершинную тонкую часть ствола, крону, пни и корни как отходы лесозаготовок, в большинстве случаев, оставляют на лесосеке. Количество таких отходов лесозаготовок колеблется от 30 до 50 % в общей биомассе [28].

Отходами лесозаготовок называют всю неиспользованную биомассу древостоя, оставляемую в лесу после лесозаготовительных работ [17, 20, 27, 28, 30, 71, 72]. К ним относят пни, корни, лесосечные отходы и целые деревья, которые остаются на лесосеке.

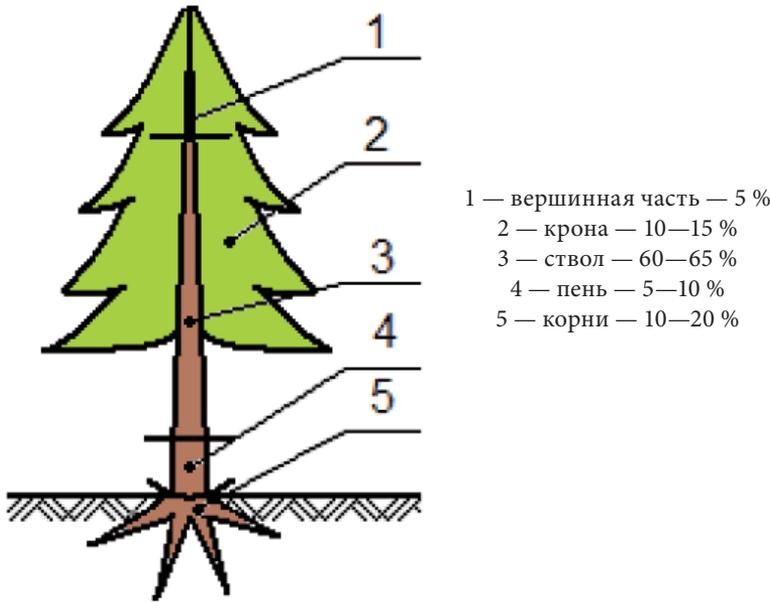


Рис. 1.1. Распределение биомассы в растущем дереве, % от общей биомассы дерева



Рис. 1.2. Структура распределения дополнительного сырья в зависимости от технологии лесозаготовок

Нежелательными являются деревья, которые по своему состоянию, качеству и форме ствола не отвечают хозяйственным целям. К ним относят дровяные, сухостойные и лиственные деревья низкой товарной ценности. К тонкомерным относят деревья, диаметр которых меньше минимального размера заготавливаемых. Нежелательные и тонкомерные деревья лесозаготовители чаще всего оставляют на корню. Наряду с древесиной, дополнительным источником сырья для переработки могут служить кора, хвоя и листья [17, 20, 21, 28]. На рис. 1.2 представ-

лена примерная структура образования отходов лесозаготовок в зависимости от их технологии.

К **основному сырью** (рис. 1.3) относится та часть биомассы, на которую сориентировано конкретное производство, например в лесопилении — стволовая часть древесины. К **дополнительному (потенциальному) сырью** относится вся остальная часть биомассы (рис. 1.3). **Реальные ресурсы** оцениваются как возможные (потенциальные), за исключением технологических потерь. **Технологические потери** — древесина, расходуемая на собственные нужды (производственные). **Экономически доступные ресурсы** — часть реальных ресурсов, освоение и переработка которых дает экономический эффект. **Экономически недоступные ресурсы** — часть реальных ресурсов, освоение и переработка которых экономически нецелесообразны.



Рис. 1.3. Биомасса как источник сырья

1.1.1. Классификация древесной биомассы и объемы ее образования

Пнево-корневая древесина (рис. 1.4, а). **Пень** — надземная часть ствола, которая остается после валки на лесосеке. Между диаметром дерева на высоте груди (1,3 м) и диаметром пня существует прямолинейная зависимость: $d_{1,3} = 0,75 \cdot d_n$.

Высотой пня называется расстояние от уровня земли до торцевой части пня. С ростом дерева шейка корня укрепляет корневую систему, и пень тем выше, чем крупнее дерево. Реальная высота пня зависит от породы, условий произрастания, времени проведения работ и применяемой лесозаготовительной техники. На дренированных лесных почвах пни всегда выше из-за мощного расширения комля.

Для пнево-корневой системы сосны характерен крупный стержневой корень; ель отличается от сосны развитой системой боковых корней, которые повсеместно располагаются в поверхностных слоях почвы (рис. 1.5).



Рис. 1.4. Дополнительное сырье: а — пнево-корневая древесина, б — лесосечные отходы

Глубина залегания корневой системы сосны зависит от диаметра пня. По данным [28], при диаметре пня 28 см средняя глубина залегания составляет 64 см. При увеличении диаметра пня на 1 см глубина его залегания возрастает на 0,9 см. Средняя глубина залегания корневой системы ели при диаметре 26 см составляет 37 см. Более чем 90 % объема боковых корней сосны обыкновенной и ели располагаются в поверхностном слое почвы толщиной 20 см. Сосновый пень обычно ниже, так как шейка корня из-за слабо развитых боковых корней расположена ниже, чем у ели. При валке деревьев в зимнее время высота пня увеличивается из-за влияния снежного покрова.

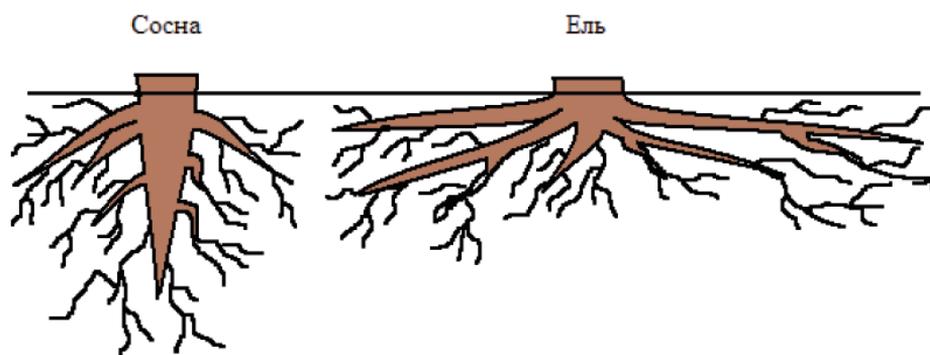


Рис. 1.5. Пнево-корневая система сосны и ели

Сложность использования пнево-корневой древесины для переработки в щепу обусловлена засоренностью минеральными примесями, свилеватостью и т. д. К ее недостаткам как технологического сырья относятся: наличие в ней пороков строения (наклона волокон, крени и свилеватости); разнообразие форм и размеров кусков древесины; сложность окорки; значительная засоренность минеральными примесями и даже камнями, которые нередко зарастают в корнях. Из та-

кой древесины сложно получить щепу высокого качества. Кроме того, ее изготовление требует дополнительных затрат на очистку сырья [17, 20, 21, 28].

Достаточно точный подсчет потенциальных ресурсов пневой и корневой древесины на лесосеке можно получить, зная состав насаждений и распределение средних диаметров деревьев. Подсчитать реальные ресурсы пневой и корневой древесины возможно только ориентировочно. Согласно отраслевой методике определения объемов вторичных материальных ресурсов в лесной и деревообрабатывающей промышленности [28, 31], пни составляют 2—3 % от объема заготавливаемой древесины, корни — 11 % от объема ствола дерева.

К лесосечным отходам относят (рис. 1.4, б) сучья, ветви, вершины, оторцовки и обломки стволов. Среди оставляемых на корню или брошенных на лесосеке следует выделить нежелательные и тонкомерные деревья.

Сучья и ветви. Сучья — крупные боковые отростки от ствола. Ветви — мелкие побеги от ствола и сучьев. Сучья и ветви имеют различные размеры и объем, которые зависят от породы и возраста дерева, диаметра ствола и запаса на 1 га, типа и бонитета леса.

Согласно данным [17, 20, 21, 28], у ели сучья составляют 18 % от стволовой древесины, у сосны — 14 %, у березы — 6 %, у осины — 8 %. Наибольший объем в кроне приходится на сучья диаметром 4—10 см. Их доля у названных пород составляет 50—60 %. На одном стволе этих пород в среднем содержится 10—18 сучьев без учета тех, которые остаются на удаляемой при обрубке части вершины.

Сложность использования при переработке 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 % [28]. Содержание древесины в сучьях сравнительно невелико и составляет 54 % у сосны и 43 % у ели. Выход древесины из сучьев и ветвей примерно в 2 раза меньше, чем из пнево-корневой древесины. Значительную долю (в пределах от 26 до 35 %) сухой биомассы сучьев составляет хвоя, кора — 20—22 %. Относительное содержание трех основных компонентов биомассы сучьев — древесины, коры и зелени — может изменяться под влиянием тех или иных факторов [28].

Вершины и обломки стволов. Вершины — отдельные верхние концы ствола с сучьями и ветвями, которые как дополнительное сырье имеют большое значение (1,5 % от объема заготовки). Например, наименьший диаметр вершин для хвойных пород должен быть не более 6 см, для лиственных пород — 8 см. На практике толщина в месте отреза обычно составляет 7—8 см, но может быть 17 см и более [28]. Усредненные нормативы образования лесосечных отходов [17, 20, 27, 30] приведены в табл. 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1

Нормативы образования сучьев, ветвей и вершинок на растущем дереве, % от объема вывозки древесины [17, 20, 27, 30]

Порода	Всего	Лесосечные отходы		
		Сучья	Ветви	Вершинки
Сосна	13	5,0	7,1	0,9
Ель	14	8,6	4,1	1,3
Лиственница	13	6,6	5,6	0,8
Береза	19	8,2	8,8	2,0
Осина	15	6,7	6,7	1,6

Таблица 1.2

Нормативы образования сучьев, ветвей и вершинок на растущем дереве, % от объема вывозки древесины [17, 20, 27, 30]

Экономические районы	Сучья, ветви, вершина на растущем дереве	Отпад сучьев и ветвей при валке, трелевке		Норматив свободных лесосечных отходов, пригодных к использованию
		используемый для укрепления волоков и оставляемый на месте	в т. ч. используемый для укрепления волоков	
Россия	14,5	11,4	6,0	3,0
Северный	16,1	12,5	6,0	3,6
Северо-Западный	13,3	8,1	2,8	5,2
Центральный	12,2	7,7	3,4	4,5
Волго-Вятский	13,3	7,5	2,7	4,7
Поволжский	12,2	4,4	—	7,8
Уральский	14,4	10,2	5,0	4,2
Западно-Сибирский	12,2	10,9	5,8	1,3
Восточно-Сибирский	13,3	10,1	5,3	3,2
Дальневосточный	15,5	11,8	6,2	3,7

Обломки стволов образуются при валке или погрузке челюстными погрузчиками (до 6,6 % от общего запаса древесины на га). Вершинки и обломки стволов могут быть использованы для получения высококачественной щепы. Образуется этот вид дополнительного сырья в основном зимой, когда в условиях низких температур древесина становится хрупкой и более подвержена разрушению.

Дровяные деревья. В связи с низкой товарной ценностью (кривизна ствола, сучки и гниль) значительная часть дровяных деревьев остается невырубленной, так как их заготовка не оправдывает затрат [17, 20, 21, 28]. В основном это береза и осина, которые дают наибольшее количество дровяных деревьев.

По физическим свойствам древесина лиственных пород отличается от хвойных повышенными плотностью, распределением влаги в стволе растущего дерева, водопроницаемостью вдоль волокна, большей твердостью.

К категории дровяных часто относят сухостойные деревья, которые нередки для спелых и перестойных насаждений. Древесина сухостойных деревьев, с небольшим сроком усыхания, по составу и свойствам мало отличается от здоровой. Однако при продолжительном стоянии на корню усохшие деревья быстро подвергаются поражению синевой и гнилью. Обычно средняя часть ствола такого дерева меньше поражена гнилью, чем комлевая и вершинная. Гниль сосредоточена главным образом в заболони.

На Северо-Западе России выход неделовой (фаутной) древесины составляет для ели 15—25 %, сосны 14—25 %, березы 46—74 % и осины 56—78 % [75].

Тонкомерная древесина. Может составлять до 40 % лесосечных отходов при диаметре менее 14 см на высоте 1,3 м [17, 20, 21, 28].

При всех рубках ухода в молодняках — осветлениях, прочистках, прореживаниях — получают тонкомерную древесину. Выход такой древесины при рубках ухода зависит от возрастной структуры и породного состава насаждений, лесорастительной зоны и интенсивности прореживания.

Древесина тонкомерных стволов по качеству несколько отличается от спелой древесины. Для нее характерны меньшая плотность, более короткие и тонкие волокна целлюлозы, особенно в молодом возрасте.

При исследовании молодой древесины лиственных пород с коротким циклом выращивания также установлено, что она имеет более короткое и тонкое волокно. Однако разница между размерами волокон молодой и спелой древесины лиственных пород менее значительна, чем у хвойных. Наблюдается повышенная «грубость» волокна в связи с увеличением возраста древесины. Волокна целлюлозы молодых деревьев более тонкие и гибкие. Наблюдаются отличия и в химическом составе тонкомерной древесины. В ней меньше содержится целлюлозы, больше — лигнина, пентозанов, смол, золы.

К тонкомеру близка по своим свойствам древесно-кустарниковая растительность, произрастающая на объектах мелиорации и большей частью представленная лиственными породами.

В качестве примера [20] ниже представлено распределение лиственных тонкомерных хлыстов по качественным показателям (табл. 1.3).

Таблица 1.3

**Распределение лиственных тонкомерных хлыстов
по качественным показателям, % [20]**

Диаметр хлыста, см	Характеристика качества хлыстов							
	здоровых из		с гнилью из		с кривизной из		с механическими и другими повреждениями из	
	осины	березы	осины	березы	осины	березы	осины	березы
6...12	70,7	73,5	29,3	5,7		20,3		0,5
14...18	32,6	51,5	40,2	11	17,4	29,2	9,8	8,3
20...24	34,4	34,3	38,3	14,5	13,1	27,8	14,2	23,4
28...32	19,4	26,8	44,9	16,7	14,9	28,5	20,8	28

Согласно данным, представленным в работе [20], поврежденные деревья (с гнилью, кривизной, механическими повреждениями) составляют для ели 25,8 %, для сосны — 21,3 % от общего количества. У лиственных пород число поврежденных деревьев значительно больше (табл. 1.3), к категории здоровых отнесено всего 26,8...34,4 % хлыстов. Качество тонкомерных хлыстов зависит от возраста (диаметра хлыстов) и пород древесины. Количество здоровых хлыстов в молодняковых группах значительно больше по сравнению с другими группами. Наибольшее количество искривленных хлыстов отмечено у березы. В то же время осиновые хлысты в наибольшей степени поражены гнилью.

Кора защищает древесину от вредных воздействий солнечного излучения, микроорганизмов, перепадов температуры и влажности атмосферного воздуха. Среднее объемное содержание коры — до 10 % от объема деловой сосновой и еловой древесины. В коре содержатся азот, кальций, магний, калий, фосфор, марганец, бор.

Круглые деловые сортименты с поврежденной корой не подлежат длительному хранению. За летние месяцы в них появляются различные грибные поражения, активному развитию которых способствуют трещины усушки на торцах и боковой поверхности лесоматериалов, где снята кора.

При окорке 1 плотного м³ круглых лесоматериалов хвойных пород ориентировочно получают 30 кг абсолютно сухой коры. Отходы окорки составляют 10—15 % от объема стволовой древесины [17, 20, 21, 28].

Древесная зелень. Хвоя, листья, побеги. К древесной зелени относят хвою, листья и недревесневшие побеги ветвей диаметром в отрубе не более 8 мм. Содержит: углеводы, сахара, белки, жирорастворимые

пигменты (каротиноиды), витамины (групп Е, К, Р, С), эфирные масла, микроэлементы.

Отходы лесоперерабатывающих производств. Откомлевки (оторцовки) образуются при оторцовке 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. Откомлевки образуются и в случае дефектов стволов, возникших при валке дерева. При распиловке древесного сырья образуется до 44 % отходов [17, 20, 21, 28], количество и качество которых зависит от технологического процесса распиловки, размеров и качества распиливаемых бревен, применяемых поставов. Отходы лесопиления составляют горбыли, рейки, оторцовки и опилки. Часть сырья безвозвратно теряется на распыл и усушку.

1.1.2. Методы учета древесной биомассы

Оценка объемов древесной биомассы, образующихся на делянке после проведения лесосечных работ, имеет важное значение при прогнозировании массы древесного сырья, необходимого для производства конечной продукции, в частности топливной щепы. В работе [28] представлены некоторые методы учета древесной биомассы (табл. 1.4).

Таблица 1.4

Распределение объемов дополнительного сырья
в зависимости от запаса на га [28]

Запас на 1 га, м ³	Средний выход отходов			
	лесосечных		пнево-корневой древесины	
	щепа, скл. м ³	древесина, пл. м ³	куски пня, скл. м ³	древесина, пл. м ³
50	16	3	25	10
100	31	7	50	14
150	47	10	75	21
200	63	13	101	28
250	78	17	126	35
300	93	20	151	42

Выборочный способ оценки. На исследуемой лесосеке закладывают пробные площади размером 50×50 м, на которых измеряют длину и диаметры оставленных отходов с последующей оценкой их объемов в пересчете на 1 га. Способом закладки пробных площадей оцениваются также и запасы пнево-корневой древесины. Способ отличается высокой точностью, но весьма трудоемок.

Оценка запасов сучьев и древесной зелени по модельным деревьям. Для каждой ступени толщины отбирают не менее четырех деревьев, характерных для данного массива по развитию кроны. Отобранные модельные деревья спиливают, затем измеряют диаметр и объем ствола, объем (в кл. м³) и массу (в кг) сучьев. После этого, отделив секатором древесную зелень от сучьев, ее взвешивают, определяют реальный выход древесной зелени и сучьев на 1 м³ стволовой древесины.

Оценка запасов отходов древесины по выходу щепы. На заложённых пробных площадях все лесосечные отходы собирают механизированным способом и измельчают в щепу. По выходу щепы можно судить о запасах лесосечных отходов. Сбор отходов в виде щепы не только упрощает процедуру измерений, но позволяет определить прежде всего их реальные ресурсы.

Способ линейных пересечений. На исследуемой лесосеке намечают ряд линий, которые на местности могут быть закреплены вспомогательным оборудованием, имеющим рабочий орган значительной протяженности (веревка, проволока, лента). Далее измеряют диаметры крупных кусковых отходов в месте пересечения их с линией отбора. Объем оставленных отходов тесно связан с количеством хаотично разбросанных кусков и отрезков, пересеченных этими линиями. Зависимость для определения объема кусковых отходов на единицу площади (м³/м²) представлена в следующем виде:

$$V = \frac{\pi^2 \sum_{i=1}^n d_i}{8L}, \quad (1.1)$$

где d — диаметр i -го куска, измеренного в точке пересечения его с линией отбора, м; n — количество кусков; L — длина линии отбора образцов, м.

1.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЦЕПОЧКИ ЗАГОТОВКИ БИОЭНЕРГОСЫРЬЯ

Древесная биомасса может использоваться в виде твердого топлива (колотых дров, топливной щепы, брикетов и топливных гранул). Как показывает опыт европейских стран, наиболее перспективным видом древесного биотоплива для котельных и мини-ТЭС, расположенных недалеко от источников древесного сырья, является топливная щепа, стоимость генерации энергии из которой значительно ниже, чем из брикетов и гранул [34, 46, 73, 78].

Процесс получения топливной щепы из древесной биомассы состоит, как минимум, из трех этапов: заготовка (или сбор) биомассы, измельчение биомассы в топливную щепу и транспортировка готовой щепы до потребителя [3].

Система производства топливной щепы строится вокруг операции измельчения, производимой рубительной машиной. Положение рубительной машины в технологической цепочке в значительной мере определяет состояние биомассы во время транспортировки и степень зависимости машин друг от друга. Если машины в цепочке поставки щепы значительно зависят друг от друга, то такую цепочку принято называть «горячей», в такой цепочке, при неверной логистике, возможны продолжительные простои техники и повышение себестоимости щепы [82]. При малой зависимости машин друг от друга цепочку называют «холодной».

Технологии и системы машин, позволяющие получать топливную щепу, как правило, из предварительно подсушенной древесной биомассы, можно классифицировать по разным признакам [47].

Например, можно классифицировать по месту выполнения операции измельчения:

- На делянке (у пня). Измельчение древесной биомассы в щепу происходит непосредственно на делянке. При такой технологии используются мобильные рубительные машины с контейнером (рис. 1.6, а) или комбинированные машины, оснащенные не только рубительным модулем, но и манипулятором с валочной головкой (рис. 1.6, б);
- На верхнем складе (у дороги). Древесная биомасса трелюется с делянки к месту примыкания лесовозной дороги, где она измельчается в щепу. Используются передвижные рубительные машины, агрегатируемые с сельскохозяйственными тракторами (рис. 1.6, в), или рубительные машины, установленные на шасси грузовых автомобилей (рис. 1.6, г). При заготовке щепы на удаленных друг от друга небольших делянках могут найти применение комбинированные автощеповозы (рис. 1.6, д), оснащенные рубительными модулями;
- На терминале (нижнем складе). Биомасса транспортируется на терминал, где происходит ее измельчение в щепу с использованием мощных передвижных рубительных машин [81];
- У потребителя (мини-ТЭС, котельная). Древесная биомасса доставляется до потребителя, где происходит ее измельчение с использованием стационарных (рис. 1.6, е) или мощных передвижных рубительных машин.

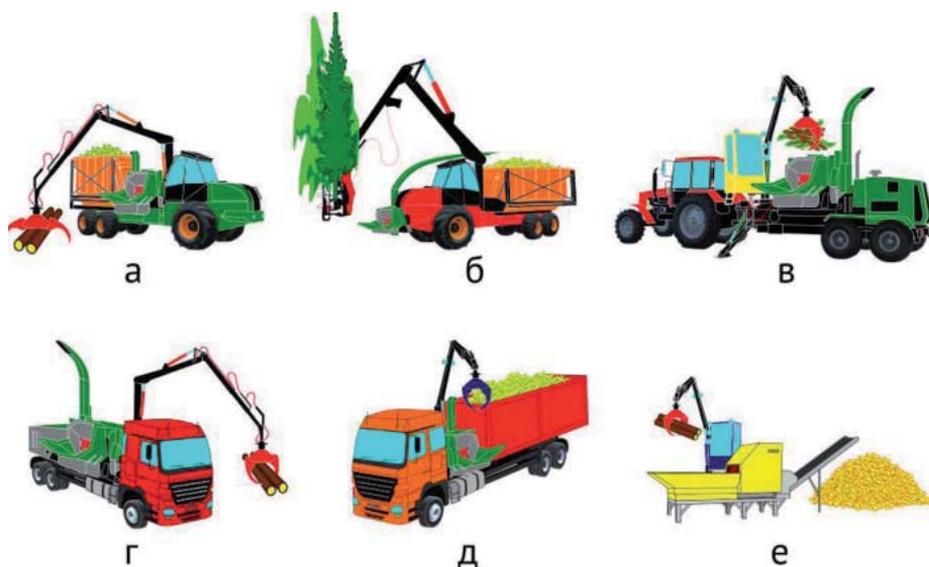


Рис. 1.6. Рубительные машины

С другой стороны, если рассматривать заготовку энергетической древесины совместно с заготовкой деловой древесины, то технологии и системы машин можно классифицировать на основании того, в каком виде древесина доставляется на верхний склад (погрузочную площадку у лесовозной дороги):

- Заготовка сортиментов. Обрезка сучьев и раскряжевка деревьев на сортименты происходят на делянке у пня. На сегодняшний день наиболее распространена во многих районах на Северо-Западе России;
- Заготовка деревьев. Предусматривает их валку, а затем трелевку стволов с кроной к лесовозной дороге. Обрезка сучьев и раскряжевка хлыстов на сортименты производятся после трелевки (на верхнем складе);
- Заготовка хлыстов. Этот способ аналогичен способу заготовки деревьями. Отличие между ними заключается в том, что обрезка сучьев производится на делянке у пня;
- Заготовка щепы. Этот метод предусматривает валку и измельчение деревьев в щепу непосредственно на делянке у пня с дальнейшей транспортировкой щепы к потребителю.

Еще одним вариантом классификации технологий и систем машин, позволяющих получать топливную щепу, является классификация по источнику биоэнергетического сырья:

- Неделовая древесина от сплошнолесосечных рубок: малоценная и дровяная;

- Отходы лесозаготовок от сплошнолесосечных рубок: вершины, ветви, сучья, обломки стволов и откомлевка;
- Тонкомерная древесина от рубок ухода и от расчистки линейных объектов (нефте- и газопроводов, автомобильных и железных дорог, линий электропередач);
- Пнево-корневая древесина.

Рассматривая различные варианты классификации, можно выделить несколько возможных путей заготовки топливной щепы на Северо-Западе России:

1. Производство топливной щепы при сплошнолесосечной сортиментной заготовке.
2. Производство топливной щепы при заготовке тонкомерной древесины.
3. Производство топливной щепы из древесины пней и корней.

1.2.1. Технология производства топливной щепы при сплошнолесосечной сортиментной заготовке

Комплексная заготовка деловой и древесной биомассы для производства топливной щепы позволяет снизить затраты на планирование, управление и другие основные затраты в расчете на произведенный кубический метр лесопродукции. Кроме того, применение только одних лесозаготовительных машин для выполнения различных видов работ позволяет минимизировать затраты.

На рис. 1.7 представлен комплексный метод, когда при сплошнолесосечной сортиментной технологии наряду с заготовкой деловой, дровяной и малоценной древесины осваиваются порубочные остатки. При традиционной валке деревьев с помощью харвестера оператор укладывает порубочные остатки на волок для его укрепления. Их дальнейшее использование для производства щепы, после неоднократного проезда по ним лесных машин, затруднительно, в том числе из-за того, что порубочные остатки загрязняются минеральными включениями, что увеличивает зольность щепы. Поэтому, при сборе порубочных остатков с целью дальнейшего их использования в биоэнергетике, оператор харвестера, на участках с достаточной несущей способностью, должен укладывать порубочные остатки вдоль волокна (с одной или с двух сторон) [40].

Операция измельчения древесной биомассы может выполняться на делянке (у пня), на погрузочной площадке у лесовозной дороги, на терминале или у потребителя (мини-ТЭС, котельная).

Положение рубительной машины определяет, в каком виде осуществляется транспортировка древесной биомассы до конечного потребителя: в виде щепы, обвязанных пакетов или насыпных отходов лесозаготовок.

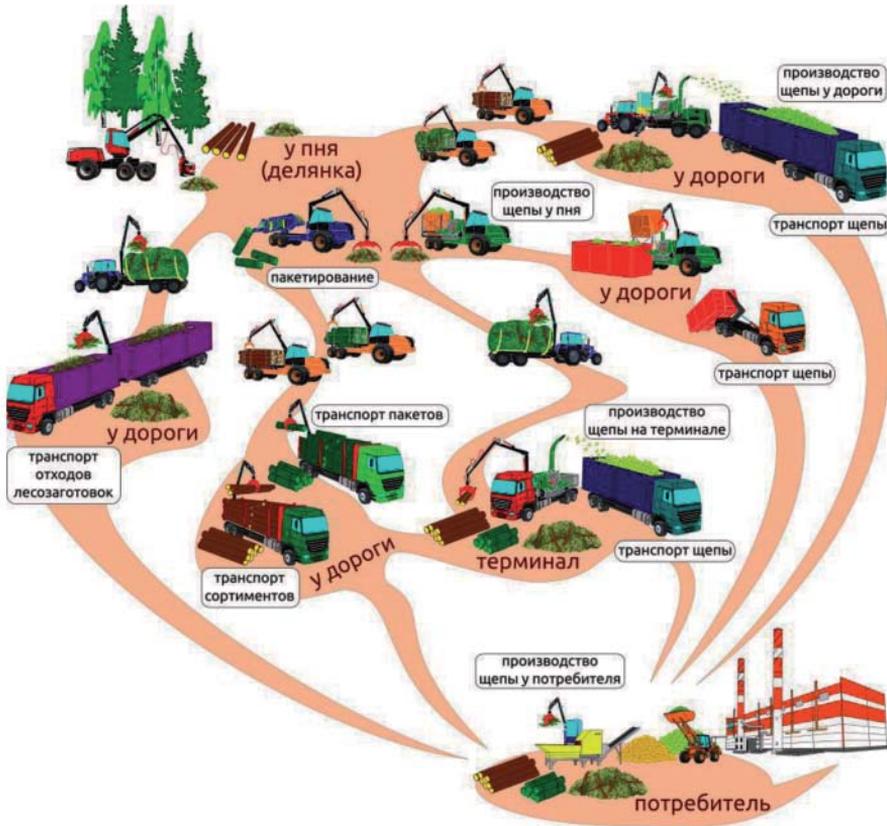


Рис. 1.7. Комплексная технология освоения древесной биомассы для биоэнергетики при сплошнолесосечной сортиментной технологии

При переработке биомассы в щепу на делянке может использоваться мобильная рубительная машина на базе форвардера. Мобильная рубительная машина, перемещаясь по волоку, манипулятором загружает древесную биомассу в рубительный модуль, откуда готовая щепка перемещается в контейнер машины. Щепу рубительная машина трелюет на погрузочную площадку, откуда она автощеповозами (автопоездами-щеповозами) или автомобилями-контейнеровозами со сменными контейнерами (рис. 1.8) вывозится потребителю.

Наибольшее применение в странах Скандинавии нашли технологические цепочки, использующие рубительные машины на верхнем складе у дороги [74]. Рубительная машина может быть установлена на шасси автомобиля или прицепляться к сельскохозяйственному трактору. Также возможно применение специализированных комбинированных машин, представляющих собой автощеповоз с рубительным модулем.

Сложные дорожные условия могут затруднить доставку рубительной машины на погрузочную площадку. Биомассу с нескольких лес-

сек целесообразно доставлять на терминал, где она будет измельчаться в щепу, которую будут перевозить с терминала до потребителя автощеповозы большой вместимости. Для измельчения биомассы на терминале могут использоваться мощные и высокопроизводительные рубительные машины.



Рис. 1.8. Автотранспорт для транспортировки щепы: а — автомобиль-контейнеровоз со сменными контейнерами, б — автомобиль-щеповоз, в, г — автопоезда-щеповозы с прицепом и полуприцепом

Переработка древесной биомассы у потребителя возможна при наличии у него стационарной или крупной передвижной рубительной машины. Одна мощная передвижная рубительная машина может обслуживать несколько территориально распределенных потребителей.

1.2.2. Технология производства топливной щепы при заготовке тонкомерной древесины

Тонкомерная древесина может быть получена при проведении некоммерческих рубок ухода, при расчистке линейных объектов (обочин дорог, линий электропередач, газопроводов), а также это может быть заготавливаемая сплошнолесосечным способом специально выращиваемая для энергетических целей плантационная древесина.

Вершины и ветви составляют значительную часть биомассы дерева, поэтому заготовка тонкомерной древесины в деревьях позволяет получать большие объемы древесного сырья. Современные полностью механизированные технологии заготовки тонкомерной древесины являются достаточно производительными, но себестоимость топливной щепы, полученной из тонкомерной древесины, выше, чем себестоимость щепы из порубочных остатков [18]. Поэтому, на данном этапе развития лесной биоэнергетики в России, заготовку тонкомерной древесины следует рассматривать как способ снизить затраты на проведение рубок ухода, расчистки дорог и трасс. По мере развития лесной

биоэнергетики, как показывает опыт стран Скандинавии, тонкомерная древесина в качестве сырья для производства щепы будет использоваться достаточно широко. Например, в 2010 году 40 % топливной щепы, используемой в Финляндии на ТЭС и в котельных, было произведено из тонкомерной древесины [18].

На рис. 1.9 показана технология заготовки древесной биомассы в зависимости от применяемых систем машин и бензомоторного ручного инструмента.

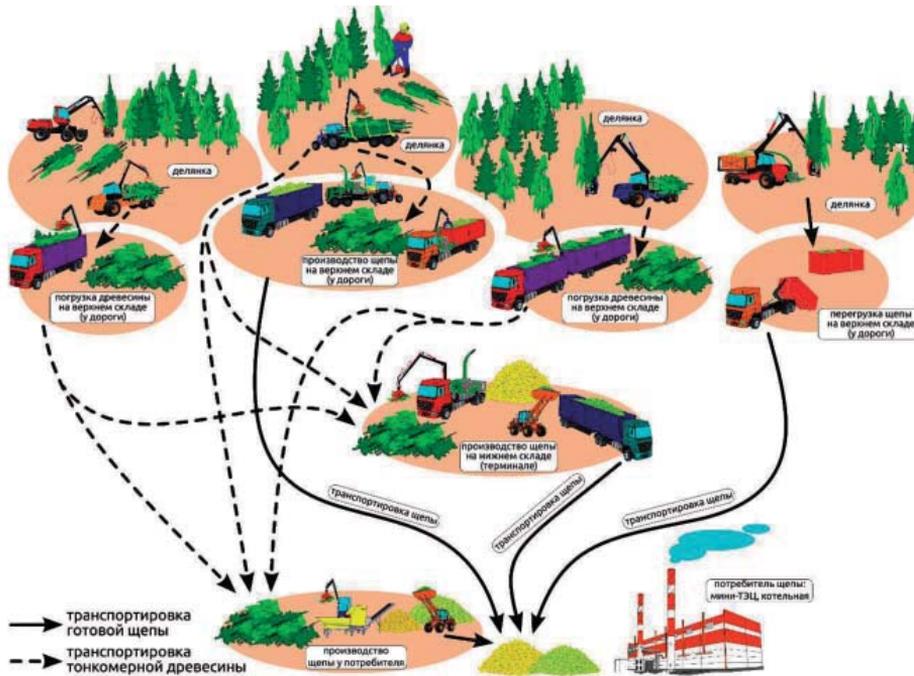


Рис. 1.9. Технологическая цепочка производства топливной щепы из тонкомерной древесины

При небольших объемах заготовки применяется ручная валка. Для удобства работы бензопилы оснащаются специальными валочными рамами. При механизированной заготовке тонкомерных деревьев используются специальные харвестерные и валочно-пакетирующие головки. На харвестерные головки в качестве опции может устанавливаться накопитель стволов, который позволяет значительно увеличить производительность заготовки тонкомерных деревьев. При заготовке тонкомерной древесины в большом объеме харвестерные головки могут заменяться на специализированные аккумулярующие (с накопителем) валочные головки, созданные специально для заготовки энергетической древесины.

При заготовке тонкомерной древесины с рубкой биомассы в щепу на лесосеке может применяться мобильная рубительная машина на базе форвардера, работающая непосредственно на делянке и перерабатывающая в щепу сваленные и пакетированные тонкомерные деревья. Также возможно применение комбинированных машин, оснащенных харвестерной головкой с накопителем, рубительным модулем и контейнером для щепы.

Рубительная машина может быть установлена на погрузочной площадке. В этом случае готовая щепа с погрузочной площадки доставляется до потребителя в автощеповозах. При незначительных объемах биомассы на множестве разрозненных делянках может найти применение автощеповоз, оснащенный рубительным модулем.

Заготовленную тонкомерную древесину можно транспортировать до терминала или погрузочной площадки, где биомасса будет перерабатываться в щепу на высокопроизводительных передвижных или стационарных рубительных установках.

1.2.3. Технология производства топливной щепы из пнево-корневой древесины

Заготовка пневой древесины позволяет снизить себестоимость сплошной обработки почвы для искусственного лесовосстановления после сплошнолесосечной рубки. При корчевке пней можно попутно выполнить дополнительные операции подготовки почвы. Удаление пней может предотвратить перенос грибковых болезней в новое поколение деревьев [40]. Технология заготовки древесной биомассы из пней и корней осуществляется в основном на делянках с достаточно богатыми и рыхлыми минеральными почвами в условиях равнинного рельефа. Пневую древесину заготавливать проще у ели, чем у сосны [77].

На рис. 1.10 показана технология заготовки биомассы из пнево-корневой древесины машинным способом с использованием экскаватора, оснащенного специальным оборудованием.

При заготовке пнево-корневой древесины технология, по которой была произведена заготовка деловой древесины, не играет особой роли. Отличительной чертой применения пнево-корневой древесины в качестве сырья для производства топливной щепы является то, что необходимо применять тяжелое и мощное рубительное оборудование, которое не боится повышенного количества минеральных включений и может переработать плотную корневую древесину. Работа таких рубительных машин непосредственно на делянке невозможна. Переработка такой древесины на щепу на погрузочной площадке осложнена тем, что в этом случае необходимо в лес доставить тяжелую рубительную машину, имеющую значительные габариты. Производственные

территории на терминале или у потребителя не только позволяют разместить тяжелое оборудование, но и выделить место для складирования и просушки значительных объемов пнево-корневой древесины.

Стоит отметить, что ранее [65] для механизированной заготовки пней КарНИИЛПом были разработаны специальные машины на базе лесных тракторов, например машина АКП-1 для корчевания мелких и средних пней.



Рис. 1.10. Технология заготовки экскаватором и измельчения пнево-корневой древесины у потребителя

1.2.4. Технологическая цепочка производства топливной щепы при концентрации древесной биомассы на верхнем складе (погрузочной площадке)

Основной недостаток известных способов заготовки древесных отходов заключается в том, что при их использовании слишком велики затраты на сбор и концентрацию лесосечных отходов на погрузочной площадке, особенно это актуально при заготовке древесины в сортиментах. При заготовке древесины в деревьях и трелевке их до погрузочной площадки с последующей обработкой на сортименты образуется вал сучьев, ветвей и т. д., которые могут быть использованы для производства топливной щепы с последующей их транспортировкой

автопоездами-щеповозами потребителям. В этом случае при обработке деревьев на верхнем складе могут использоваться рабочие, оснащенные бензопилами, процессоры или харвестеры в режиме процессора. Технологический процесс лесосечных работ может выглядеть следующим образом: валка деревьев бензопилами, трелевка деревьев тракторами с тросочерным оборудованием или тракторами для бесчочерной трелевки; валка-пакетирование валочно-трелевочными машинами (ВТМ) или валочно-пакетирующими машинами (ВПМ), трелевка скиддерами или тракторами для бесчочерной трелевки; валка-трелевка ВТМ. Механизованная обработка деревьев на верхнем складе осуществляется процессорами или харвестерами в режиме процессора. Так как расстояние перемещения харвестера при работе на верхнем складе незначительно, здесь целесообразно использовать харвестеры на базе экскаваторов, которые имеют меньшую стоимость, чем машины того же назначения с колесным двигателем [58]. Полученные в результате обработки деревьев лесосечные отходы могут перерабатываться в щепу мобильными рубительными машинами или транспортироваться в насыпном виде или в виде пакетов автотранспортом в пункты переработки.

В качестве примера можно привести технологию работы валочно-трелевочно-процессорной машины (ВТПМ) [58, 62]. ВТПМ состоит из базовой машины, платформы и манипулятора; на платформе установлен зажимной коник с гидроприводом, а на манипуляторе — харвестерная головка, предназначенная для использования в качестве захватно-срезающего и процессорного устройства.

Технология работы машины заключается в следующем (рис. 1.11). При разработке каждой пасеки машина задним ходом заходит вглубь лесосеки и разрабатывает волок (технологический коридор), укладывая деревья по краям, освобождая проезд. Двигаясь в обратном направлении, валит и укладывает в коник деревья, находящиеся в пределах доступности с обеих сторон машины, а также подбирает и укладывает в коник сваленные деревья при разработке волока. После набора пачки деревьев она трелюется на погрузочную площадку. На погрузочной площадке машина производит обрезку сучьев, раскряжевку деревьев, штабелевку сортиментов. Древесные отходы (вершинки, сучья, откомлевки) остаются на погрузочной площадке (верхнем складе), где могут быть переработаны в топливную щепу. Благодаря концентрации сучьев, ветвей, вершинок и откомлевок на верхнем складе резко снижаются затраты на сбор и транспортировку лесосечных отходов к месту переработки.

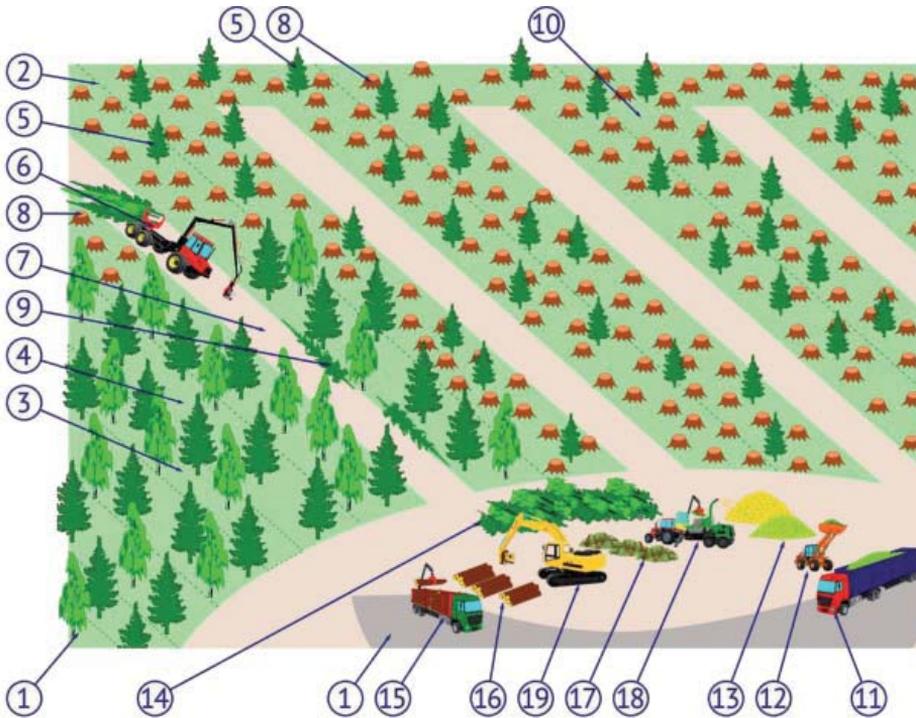


Рис. 1.11. Схема разработки лесосеки с помощью ВТПМ [58]:

- 1 — лесовозный ус, 2 — граница пасек, 3 — размеченный волок,
 4 — полупасака до рубки, 5 — подрост, 6 — ВТПМ, 7 — разработанный волок,
 8 — пень, 9 — поваленное дерево, 10 — разработанная пасака, 11 — щеповоз,
 12 — погрузчик, 13 — куча щепы, 14 — штабеля деревьев, 15 — автолесовоз,
 16 — штабеля сортиментов, 17 — сучья, вершины, 18 — рубительная машина

1.3. МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ НА ЗАГОТОВКЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ

1.3.1. Бензиномоторные пилы

Бензиномоторная пила (бензопила) [4, 9, 19, 32, 33] — переносной инструмент, снабженный двухтактным карбюраторным двигателем с режущим механизмом в виде пильной цепи, широко применяемый на лесозаготовках в России и за рубежом для валки деревьев, обрезки сучьев и раскряжевки хлыстов на сортименты. Управление бензиномоторной пилой, ее переноску и вспомогательные движения осуществляет рабочий, удерживающий ее в процессе технологических опера-

ций за специальные рукоятки. Бензиномоторные пилы обычно делят на две группы (рис. 1.12):

- с высоким расположением рукоятки (типа «Дружба» или «Урал»);
- с низким расположением рукоятки (универсальные). В настоящее время наиболее распространенные при механизированной заготовке хлыстов и сортиментов на лесосеке («Husqvarna», «Stihl» и др.).

При заготовке хлыстов или деревьев с кроной вальщик с помощью бензопилы валит деревья. Далее их трелюют в хлыстах (после обрезки сучьев) или с кроной к верхнему складу (погрузочной площадке), а раскряжевку стволов на сортименты производят на верхнем или нижнем лесоскладе. При заготовке сортиментов на лесосеке рабочий помимо валки деревьев производит обрезку сучьев и раскряжевку стволов поваленных деревьев, при необходимости — подтаскивание получаемых сортиментов к технологическому коридору (волоку).



Рис. 1.12. Бензопилы: а — с высоким расположением рукоятки (Урал-2Т), б — универсальные (Husqvarna 351)

При валке рабочий вначале осуществляет подпил — начальную операцию валки, способствующую падению спиленного дерева в заданном направлении. При окончательном пилении бензиномоторной пилой дерево сталкивают путем придания ему импульса для валки в заданном направлении с помощью различных инструментов и приспособлений — валочной лопатки, клиньев, гидроклина. Зимой перед валкой вокруг дерева удаляют снег для уменьшения высоты пня при валке, а также на дорожках — для обеспечения отхода вальщика от падающего дерева.

Бензопила кроме заготовки деловой древесины может без ограничений использоваться для валки тонкомерной древесины с последующим ее использованием в энергетических целях. Валочная рама с ручками повышает уровень эргономики и производительность при ручной заготовке тонкомерных деревьев. Повышается безопасность работ, оператор бензопилы может производить валку деревьев не нагибаясь. Валочная рама может устанавливаться на цепные бензопилы всех типов.

1.3.2. Кусторезы

Мотокусторезы используются при рубках ухода в молодняках для спиливания нежелательной древесной растительности (максимальный диаметр, как правило, не превышает 15 см) и для расчистки лесных площадей (рис. 1.13, а). Эта нежелательная древесная растительность представляет собой в основном кустарниковую растительность и тонкомерную древесину, которая может использоваться для производства топливной щепы.

Мотокусторезы оснащаются теми же двигателями, что и легкие бензопилы, но отличаются компоновкой. Мотокусторез состоит из двигателя, штанги, головки и пильного механизма. Для удобства работы они оснащены снаряжением для подвешивания кустореза на плечо оператора [108]. Кроме этого, для расчистки от растительности больших площадей применяются различные виды машин-кусторезов, состоящих из трактора с агрегированным рабочим органом для срезания древесной растительности (рис. 1.13, б, рис. 1.14). Различают кусторезы с активными (сегментными и ротационными) и с пассивными (ножевыми) рабочими органами.



а



б

Рис. 1.13. Кусторезы: а — рабочий с мотокусторезом STIHL FS 450, б — Naarva P25 для агрегирования на манипуляторе базовой машины



Рис. 1.14. Кусторез с дисковой пилой для агрегирования на манипуляторе лесосечной машины Usewood Pro

1.3.3. Харвестерные и валочные головки

Наиболее сложными по выполняемым функциям и устройству рабочими органами лесосечных машин являются харвестерные головки [20, 43, 44]. Они объединяют в себе захватные, срезающие, режущие, сучкорезно-протаскивающие устройства и ряд других вспомогательных механизмов. Отдельно применяемые на лесосечных работах захваты, захватно-срезающие устройства (ЗСУ) ВТМ и ВПМ, сучкорезные механизмы, устройства для срезания и раскряжевки деревьев можно считать частными случаями более сложных комбинированных устройств — харвестерных головок [44].

Обычно харвестерная головка состоит из металлического каркаса и соединенного с ним механизма наклона (наклон из вертикального положения для срезания дерева в горизонтальное положение для обрезки сучьев и раскряжевки). Посредством механизма наклона через поворотный ротатор каркас головки соединяется с манипулятором.

На каркасе смонтированы захватные рычаги, на концах которых размещаются протаскивающие элементы сучкорезного устройства (обычно протаскивающие вальцы или гусеницы). На существующих конструкциях захватные рычаги двигаются либо в плоскости, перпендикулярной оси дерева, либо в плоскости, параллельной оси дерева.

В верхней части каркаса, а в ряде конструкций дополнительно снизу, располагаются сучкорезные ножи. Чаще всего на верхнем уровне имеются три ножа (два боковых подвижных и один стационарный опорный), а на нижнем — только один или два боковых подвижных. Ножи могут иметь индивидуальный привод или быть кинематически связанными с захватами протаскивающего механизма. Последняя схема упрощает и удешевляет конструкцию, так как отпадает потребность в использовании отдельных гидроцилиндров привода ножей. Режущие кромки ножей могут быть наплавленными или сменными.

В самой нижней части каркаса смонтирован срезающий механизм. В большинстве случаев это цепная консольная пила с блоком автоматики.

В центре каркаса между рычагами устанавливаются опорный вращающийся ролик и измерительное колесо датчика отмера длин.

Общий вид харвестерной головки приведен на рис. 1.15.

Принцип действия харвестерной головки следующий. При ее раскрытии гидравлические цилиндры раздвигают захваты с протаскивающими вальцами и сучкорезные ножи. Устройство подводит к комлю дерева и закрывают, гидроцилиндры прижимают вальцы и сучкорезные лезвия к стволу. При этом дерево надежно фиксируется в силовом контуре головки между рычагами и корпусом. Дерево спиливается цепной пилой и валится с помощью наклонного (валочного) механизма головки на землю, оставаясь зажатым рычагами. Протаскивающий меха-

низм начинает двигать (протаскивать) ствол относительно сомкнутых на стволе сучкорезных ножей. Сучья при этом обрезаются. По мере продвижения ствола вдоль головки производится автоматический отмер длины очищенной от сучьев части. При достижении заданной длины специальный датчик включает в работу пильный механизм (тот же, что используется для валки дерева) и производится поперечный рез ствола (раскряжевка). Полученный сортимент падает на землю.

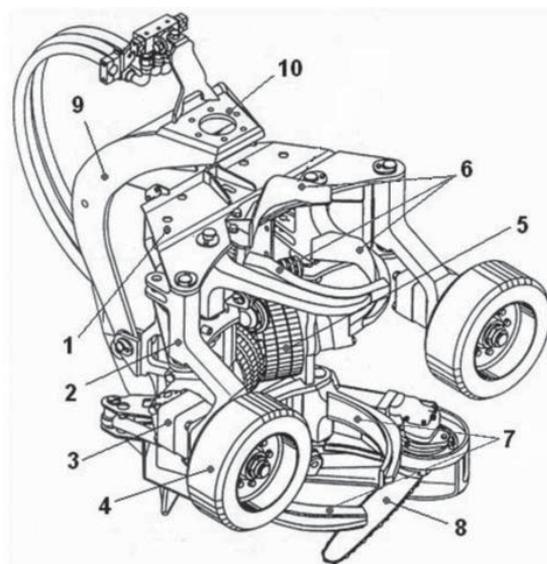


Рис. 1.15. Харвестерная головка: 1 — корпус, 2 — захваты вальцов, 3 — высокомоментные гидравлические моторы, 4 — протаскивающие вальцы, 5 — два неподвижных (фиксированных) вальца с высокомоментными гидравлическими моторами, 6 — верхние сучкорезные ножи, 7 — нижние сучкорезные ножи, 8 — пильный механизм, 9 — скоба наклонного механизма, 10 — площадка для крепления поворотного ротора

Харвестерная головка может быть оснащена дополнительными устройствами, например, устройством для обработки пней в бесснежный период с целью предотвращения распространения дереворазрушающих грибов или маркирующим устройством, которое впоследствии облегчает сортировку схожих сортиментов.

На некоторых моделях головок могут быть дополнительно установлены захватные рычаги для обработки нескольких стволов деревьев (Log Max accumulation kit) или ножевое срезающее устройство для перерезания тонкомерной древесины (Kesla ProAX) (рис. 1.16), что в дальнейшем позволяет применять харвестерные головки на заготовке как деловой, так и биоэнергетической древесины.

В существующих конструкциях головок захватные рычаги с протаскивающими вальцами двигаются либо в плоскости, перпендикулярной оси дерева (рис. 1.17), либо в плоскости, параллельной его оси (рис. 1.18).



Рис. 1.16. Харвестерная головка Kesla 16RH с дополнительным ножевым срезающим устройством (компания «Kesla» [85])



а



б

Рис. 1.17. Головка Ponsse H73e с захватными рычагами, обхватывающими дерево в плоскости, перпендикулярной оси дерева: а — захватные рычаги полностью раскрыты, б — захватные рычаги в закрытом положении

В первом случае рычаги могут приводиться в действие одним общим гидроцилиндром или иметь индивидуальный приводной гидроцилиндр на каждый рычаг. Во втором случае каждый рычаг, как правило, приводится в действие индивидуальным приводным гидроцилиндром.



Рис. 1.18. Харвестерная головка Log Max 7000 с захватными рычагами, захватывающими дерево в плоскости оси дерева: а — захватные рычаги раскрыты, б — захватные рычаги в закрытом положении

Харвестерные головки по принципу работы подающего (протаскивающего) механизма сучкорезного устройства могут быть циклического (рис. 1.19) и непрерывного действия (рис. 1.16, 1.17, 1.18). В случае применения протаскивающего механизма непрерывного действия (см. выше принцип действия харвестерной головки) дерево обжимается вальцами или гусеницами и непрерывно по всей длине протаскивается относительно сомкнутых сучкорезных ножей.

В случае применения протаскивающего механизма циклического действия дерево обхватывается захватными рычагами и с усилием надвигается на сомкнутые на стволе сучкорезные ножи. После протаскивания его относительно ножей на определенную длину захват открывается, перемещается открытым вдоль ствола в обратном направлении, вновь зажимает ствол и затем опять тащит дерево относительно ножей. Таким образом захват (обычно силовым гидроцилиндром или тросом) циклами протаскивает дерево относительно ножей для обрезки сучьев. Циклическая схема протаскивания ствола менее производительна, но более конструктивно проста и надежна. Кроме того, она меньше повреждает ствол, поэтому лучше подходит для обрезки сучьев у крупных лиственных деревьев.

Большинство эксплуатируемых харвестеров имеют механизм протаскивания харвестерной головки непрерывного действия.

Выпускаемые модели головок обычно делят на 3—4 класса по размеру и массе: легкие (300—600 кг) — преимущественно для выборочных рубок (обрабатываемый диаметр ствола 5—40 см), средние (700—1000 кг) — общего назначения (обрабатываемый диаметр ствола 5—50 см) и тяжелые (1000—1200 кг) — для сплошных рубок (обраба-

тываемый диаметр ствола 10—60 см). На рынке есть модели массой до 3500 кг (сверхтяжелые), способные обрабатывать стволы толщиной более метра. Конструкция этих харвестерных головок такая же, как и у головок харвестеров, продаваемых в странах Северной Европы.

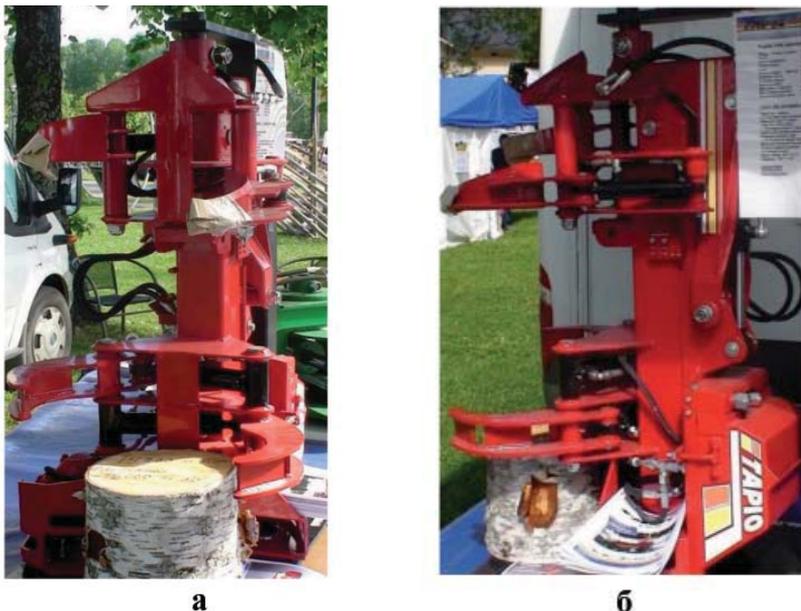


Рис. 1.19. Харвестерная головка Tarjo 160 циклического действия

Электроника и автоматика являются неотъемлемой частью харвестеров. Модели харвестеров оснащаются не только автоматической системой управления машиной, но и измерительной системой головки харвестера на основе персональных компьютеров. Измерительная система помогает оператору распиливать стволы деревьев по заданным размерам и позволяет повысить производительность лесозаготовки. Например, компания «John Deere Forestry» оснащает харвестеры системой TimberMatic™ H-09, которая включает в себя измерительную систему головки харвестера.

Новейшие конструкции головок для заготовки энергетической древесины отличаются от традиционных тем, что ствол дерева срезается с помощью ножа (или ножей), приводимого в действие силовым гидроцилиндром. На таких головках нет протаскивающих устройств и сучкорезных ножей. Для промежуточного накопления срезанных деревьев головка имеет дополнительные захватные рычаги. Такую конструкцию уже нельзя рассматривать как харвестерную головку, а следует классифицировать как валочную (ЗСУ). В качестве примера таких рабочих органов можно привести финские модели Ponsse EH25, AFM 220, Naarva-Koura 1000-23 (рис. 1.20).



Рис. 1.20. Валочные головки: а — AFM 220 (компания «AFM Forest» [86]), б — Naarva-Koura 1000-23

Валочные головки (ЗСУ) для заготовки тонкомерной древесины могут устанавливаться не только на валочные машины, но и на форвардеры (Kesla 23G, Vimek 160 и др.). В этом случае заготовленная древесина укладывается в кузов форвардера с последующей транспортировкой ее на погрузочную площадку (верхний склад). У валочных головок (ЗСУ) такого типа в качестве срезающего устройства может применяться нож (гильотина) или пильная шина (рис. 1.21).



Рис. 1.21. Валочное устройство (ЗСУ) гильотинного типа, установленное на форвардер LOGSET 8F

ЗСУ для ВПМ выполняются, как правило, двухуровневым с размещением на стойке. Стойка через систему тяг и шарниров соединяется с манипулятором. Такой тип устройств позволяет переносить деревья в вертикальном положении до момента укладки на землю. ЗСУ предназначено для срезания крупных деревьев и пакетирования (укладывания их в пакеты) в процессе сплошных рубок в насаждениях с максимальным диаметром дерева в месте среза до одного метра.

ЗСУ для ВПМ с дисковой пилой и механизмом накопления деревьев в захвате (рис. 1.22) получили большее распространение, чем с ЗСУ с пильным механизмом срезания. Наличие накопителя в конструкции ЗСУ позволяет спиливать и удерживать в захвате до 7 деревьев, а затем собранную пачку деревьев укладывать на землю. На сегодняшний день разработкой и изготовлением харвестерных и валочных головок занимаются такие известные фирмы, как «Waratah», «Ponsse», «Komatsu Forest», «Kesla», «Maskiner», «Log Max», «AFM Forest», «Kone-Ketonen», «Riuttolehto» и др.

1.3.4. Мобильные (передвижные) рубительные машины

Подобные рубительные машины производят измельчение собранных и складированных у дороги лесосечных отходов, специально заготовленной тонкомерной древесины или низкосортной (дровяной) древесины в топливную щепу [1, 40 и др.] (рис. 1.23).



Рис. 1.23. Производство щепы: а — запасы боэнергосырья у дороги, б — топливная щепа

Рубительные машины делают передвижными (на шасси тракторов, автомобилей, полуприцепе или прицепе) (рис. 1.24, а) и стационарными [1, 7, 41].

На шасси машин, полуприцепах или прицепах размещают рубительную установку. Привод установки осуществляется от двигателя базовой машины, или предусматривается использование собственного двигателя.

В основе процесса работы рубительной установки лежит рубка древесины в торцово-продольно-поперечном направлении. Для выполнения этого процесса могут использоваться различные рабочие органы [6]: барабанные, дисковые, шнековые, молотковые, щековые или другие дробилки.

В производстве энергетической щепы наибольшее распространение получили барабанные рабочие органы, снабжаемые съемными плоскими ножами (резцами) с односторонней заточкой (рис. 1.24, б).



Рис. 1.24. Рубительные установки: а — рубительная машина Kesla, б — барабанный рабочий орган со съемными ножами

Для обеспечения загрузки рубительной машины древесным сырьем на шасси устанавливаются манипуляторы и устройства для подачи древесины к механизму резания (рис. 1.25, а, б).



Рис. 1.25. Устройство для подачи сырья к рабочему органу: а — гусеничное, б — цепное

Низкопроизводительные машины могут загружаться вручную. Рубительные машины имеют специальный направляющий бункер (загрузочный патрон) с гидроприводным верхним горизонтальным вальцом для обжима и подачи сырья и, как правило, приводным нижним вальцом. Значительно реже устанавливаются дополнительные боковые вертикальные приводные или не приводные направляющие вальцы, например в машинах Dynamic CH-460 и CH-585, Albach Silvator 2000.

Подача сырья к ротору рубительной машины также возможна при наклонном патроне под действием силы тяжести (без гидравлики) (например Farmi Forset CH160F, 160TF с дисковым рабочим органом).

Устройство подачи (как правило, у высокопроизводительных машин) может также представлять собой цепной или гусеничный транспортер (конвейер) на подающем столе, оснащенный механизмом обжима сырья, выполняемым в виде горизонтального зубчатого вальца (рис. 1.25, а, б). Встречаются конструкции, когда на подающем столе устанавливаются 3—4 горизонтальных вальца, например машины Bruks 805,2ST и др. серий. Механизм подачи для дисковой рубительной машины, состоящий из вальцов, описывается в работе [2].

Подающий стол может располагаться справа или сзади по ходу перемещения рубительной машины. Это устройство во время перемещения поднимается в верхнее положение с помощью гидравлики. Каждая из частей устройства подачи приводится в действие от собственного гидромотора.

Рубительные машины снабжены собственной гидравлической системой или системой, смешанной с гидравликой трактора-тягача.

Удаление щепы из рабочего органа осуществляется по специальному щепопроводу с помощью воздушного потока (под действием центробежных сил). Щепопровод имеет возможность поворота на угол до 360 градусов и регулировки направления выброса для более удобной загрузки транспортного средства (рис. 1.26). Дальность выброса щепы регулируется заслонкой на конце выводного щепопровода, как вручную, так и с помощью гидравлики.



Рис. 1.26. Выработка щепы с одновременной загрузкой автомобиля-щеповоза

Значительно реже в конструкциях машин, кроме щеповоза, устанавливается и транспортер, например машины Komptech Chippro 510C (рис. 1.27), Doppstadt DW3060K и ряд других.



Рис. 1.27. Рубительная машина Komptech Chippo 510C на прицепной тележке, оснащенная щепопроводом и транспортером для выброса щепы (компания «Komptech» [88])

Встречаются следующие конструктивные решения при компоновке рубительных машин и их сочетания с приводными и тяговыми механизмами [20]:

- Установка рубительной машины на прицепной тележке с пневмошасси (рис. 1.28, а, б). В этом случае на тележке дополнительно монтируются гидроманипулятор для подачи сырья в механизм резания рубительной машины и гидросистема привода манипулятора, горизонтальный транспортер, щепопровод с верхним выбросом щепы. Силовой привод всех механизмов, смонтированных на прицепе, осуществляется главным двигателем трактора через карданный вал. Этот же трактор обеспечивает мобильность всего агрегата по транспортным путям.



а



б

Рис. 1.28. Установка рубительной машины на одноосной прицепной тележке: а — Kesla 4560C с барабанным рабочим органом, б — УРП-1 с дисковым рабочим органом

- Установка рубительной машины на прицепной тележке с пневмошасси с автономным силовым приводным двигателем (обычно

дизель мощностью 150—300 кВт) (рис. 1.29, а). Вариант отличается более высокой производительностью по сравнению с предыдущим и легко вписывается в технологическую схему производства щепы на терминале (нижнем складе) или у потребителя, т. к. по конструктивному исполнению близок к полустационарному варианту, а дизель может быть заменен электродвигателем.

Передвижные рубительные машины на прицепе (одно-, двух- или трехосном) могут комплектоваться автономным приводным дизельным двигателем (например Jenz НЕМ560D, Dynamic СН-535, Vermeer ВС2000XL), или привод идет через карданный вал от двигателя трактора-тягача (например Kesla С645, Eschlböck Biber 70Z, Jenz НЕМ420Z, Беларусь МР-25 и др.).

Значительно реже передвижные рубительные машины могут быть установлены на гусеничную прицепную базу с автономным приводным двигателем. С одной лесосеки на другую рубительная машина транспортируется на трейлере.

Передвижные рубительные машины могут дополнительно оснащаться поднимаемым и опрокидываемым контейнером-накопителем щепы (рис. 1.29, б).



Рис. 1.29. Установка рубительной машины:

а — Vermeer на прицепной тележке с автономным силовым приводным двигателем без гидроманипулятора, б — Kesla С645 на прицепной тележке с поднимаемым и опрокидываемым контейнером-накопителем для щепы (привод от двигателя трактора-тягача или автономный) (компания «Kesla» [89])

- Установка рубительной машины на полуприцепе с автономным силовым приводным двигателем (обычно дизель мощностью до 300 кВт) и гидроманипулятором с выводом пульта управления в отдельную кабину (рис. 1.30, а).

При такой установке рубительная машина может иметь возможность поворота вокруг вертикальной оси. Автомобиль-тягач осуществляет только перемещения агрегата по транспортным путям. Такая конструкция также отличается высокой производительностью. Как

правило, рубительные машины на полуприцепе дополнительно оснащают устройством для раскалывания толстомерных деревьев (или дровяной древесины) и сучкорезным окорочным устройством.



Рис. 1.30. Установка рубительной машины: а — Heinola на полуприцепе с автономным силовым приводным двигателем, гидроманипулятором и дополнительными устройствами, б — на шасси автощеповоза Volvo в агрегате с гидроманипулятором (компания «Bruks» [90])

В конструкции подобных машин подающий стол либо раскладывается-складывается гидравлически, либо сама рубительная машина имеет возможность вращаться относительно полуприцепа. Щепопровод и транспортер регулируются с помощью гидравлики.

Для раскалывания толстомерной древесины могут применяться также специальные гидравлические клещи, навешиваемые на гидроманипулятор, например Jenz W600, Woodcracker W1800, или устанавливаемые на раму базовой машины, например Eschlböck, Woodcracker L700 (рис. 1.31).



Рис. 1.31. Рубительная машина Komptech Chippo 5010C с автономным силовым приводным двигателем, гидроманипулятором и гидравлическими клещами (компания «Komptech» [91])

- Установка рубительной машины на шасси автощеповоза в агрегате с гидроманипулятором, в результате чего в распоряжении производителя-поставщика щепы появляется комбинированная

машина для выполнения всех основных технологических операций (рис. 1.30, б). Привод рубительной машины от двигателя автощеповоза (обычно дизель мощностью до 400 кВт). Машина эффективна при обслуживании относительно удаленных лесосек (при небольших расстояниях доставки щепы потребителю).

- Установка рубительной машины на базе форвардера с гидроманипулятором (например Амкодор-2904) и поднимаемым и опрокидываемым контейнером-накопителем щепы (например Амкодор-2902 или Bruks 806 STC на базе форвардера John Deere серии E). Привод рубительной машины от двигателя базовой машины (обычно дизель мощностью до 200 кВт).

Для заготовки биоэнергетической древесины в Финляндии, Швеции и Дании также были разработаны и испытаны в полевых условиях рубительные машины на базе форвардера, оснащенного контейнером-накопителем и агрегатируемым на манипулятор рабочим органом для валки и пакетирования тонкомерных деревьев, например Silvatec Grane 8325 CH.

Работая на лесосеке, машина срезает (валит) деревья и направляет их в приемное устройство рубительного модуля, расположенное в передней ее части. Древесная щепа, полученная при измельчении, подается по пневмопроводу в контейнер объемом 20 м³. При наполнении грузового контейнера-накопителя машина направляется на погрузочную площадку, где щепа легко перегружается в съемный контейнер автощеповоза. Система для перегрузки щепы состоит из подъемного механизма в виде ножниц, который обеспечивает подъем бункера на высоту до 3,6 м. После подъема и поворота бункера к контейнеру щепа разгружается. Гибкость этой системы обеспечивает загрузку щепы из бункера в любой вид транспорта.

- Установка рубительной машины на шасси автомобиля с гидроманипулятором. Привод рубительной машины от двигателя автомобиля (рис. 1.32, а) или автономного двигателя (рис. 1.32, б) (обычно дизель мощностью до 400 кВт).



а



б

Рис. 1.32. Установка рубильной машины:

а — Kesla на шасси автомобиля MAN, б — Heinola на шасси автомобиля Volvo

- Установка рубильной машины на сельскохозяйственный трактор через специальный гидравлический навес, как правило, с гидроманипулятором, например Farmi Forest CH380HFC (рис. 1.33, а), Jenz HEM360ZA и др. Силовой привод всех механизмов от вала отбора мощности двигателя (обычно дизель мощностью до 150 кВт).
- Рубильная машина на специально разработанной самоходной ходовой системе [57], не требующей транспортного средства для ее передвижения, например Albach Silvator 2000 компании «Albach Maschinenbau» (дизель мощностью до 450 кВт) (рис. 1.33, б).



Рис. 1.33. Установка рубильной машины:
 а — на сельскохозяйственный трактор Farmi Forest CH380HFC,
 б — рубильная машина Albach Silvator 2000 (компания «Albach Maschinenbau» [95])

1.3.5. Заготовка пнево-корневой древесины (корчеватели)

В странах Северной Европы для корчевания пней и корней, используемых затем для получения древесного топлива, чаще всего применяются гусеничные экскаваторы со специальным оборудованием [40]. Оборудование для корчевания различается в зависимости от способа удаления пней и корней (рис. 1.34).

На стрелу корчевальной машины на базе экскаватора навешивается:

- вилочный корчеватель, представляющий собой изогнутую вилку с несколькими зубьями (рис. 1.35, а);
- вилка с зубьями, копательной лопаткой и раскалывающим механизмом (рис. 1.35, б);
- специальный рабочий орган, позволяющий не только корчевать пни, но и способный встряхнуть их от земли и камней, а также дробить («Pantec» [98]).



Рис. 1.34. Машины, способные производить корчевку пней: а — экскаватор Volvo EC210B, б — экскаватор-харвестер Volvo EC210BF со стрелой-ковшом

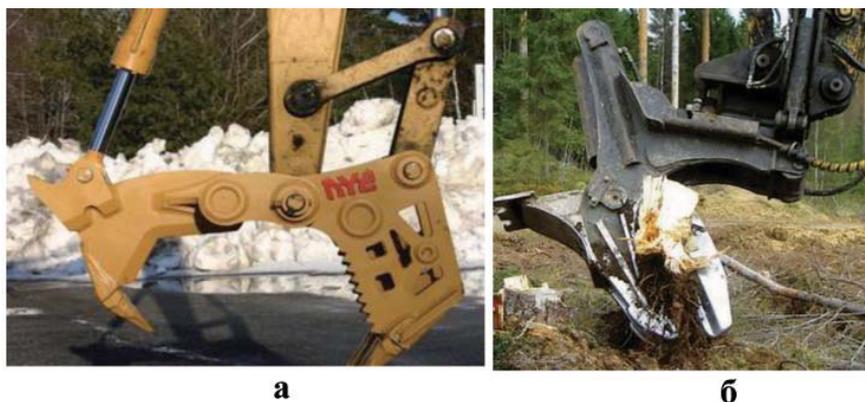


Рис. 1.35. Рабочие органы для корчевания: а — изогнутая вилка с несколькими зубьями («Nye Manufacturing» [96]), б — изогнутая вилка с зубьями, копательной лопаткой и раскалывающим механизмом («А. Hirvonen» (Väkevä) [97])

Корчевка пней, при небольшом объеме работ, может производиться и с помощью экскаваторного ковша. В том случае, если при корчевании невозможно использовать тяжелую технику по каким-либо причинам, то корчевание возможно с помощью лебедки и более легкого трактора.

В отечественной практике корчевание пней машинным способом осуществлялось при помощи лесного трактора с передней навеской, например ТТ-4М-15, МРП-2 и КМ-1 [57] (рис. 1.36, а). Рабочий орган в виде зубьев позволял корчевать за счет тягового усилия, подъемной силы или сочетания того и другого.

Подобные корчеватели выпускают ОАО «Мозырский машиностроительный завод» (корчевальное оборудование МП-18-6) и ООО «Челябинский тракторный завод — УРАЛТРАК» (рис. 1.36, б). Корчеватели позволяют штучно корчевать пни диаметром до 650 мм.



Рис. 1.36. Корчеватели: а — корчевальная машина КМ-1 [26], б — трактор Б10М с корчевателем (ООО «Челябинский тракторный завод — УРАЛТРАК» [99])

ООО «Рубцовский агрегатный завод», например, выпускает трактора ЛТ-4Т (аналог ТТ-4М), которые могут оснащаться корчевательно-собирающим отвалом.

КарНИИЛПом ранее были разработаны специальные машины для заготовки пней на базе лесных тракторов [65]. На базе трактора ТДТ-55А была разработана машина АКП-1 для корчевания мелких и средних пней (рис. 1.37 а).

На базе трактора ТТ-4 была изготовлена более мощная машина ЛТ-52. На стрелу машины устанавливали корчевальное приспособление. Машина извлекала пень и очищала его вибрационным путем. Для транспортировки пней, например, использовали трактор ЛТ-176 на базе Т-40А с ковшом-кузовом и лебедкой. Кроме этого, на базе трактора ТТ-4 была создана корчующая погрузочно-транспортная машина КПТМ-1С [28]. Машина имела манипулятор, оснащенный корчевальной головкой или клещевым грейферным захватом с вибратором, а также седельное устройство с кузовом объемом 22—25 м³ (рис. 1.37, б).

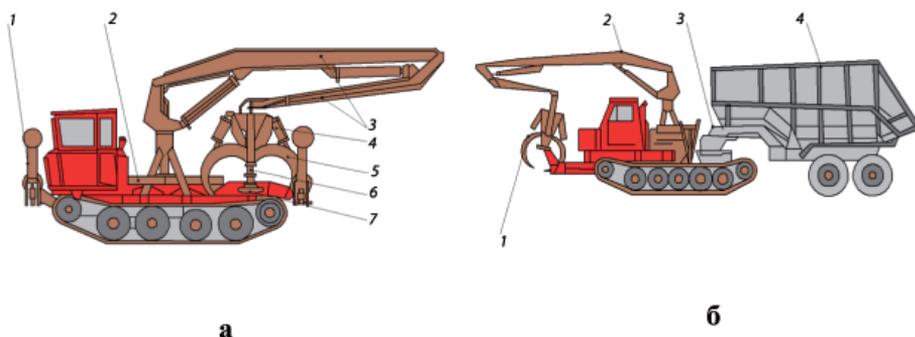


Рис. 1.37. Корчеватели: а — АКП-1: 1 — аутригер, 2 — механизм поворота стрелы, 3 — двухзвенный манипулятор, 4 — гидроцилиндры, 5 — грузовая рама, оборудованная челюстями, 6 — силовая рама, 7 — гидродомкрат; б — КПТМ-1С: 1 — клещевой грейферный захват, 2 — манипулятор, 3 — седельное устройство, 4 — кузов

1.4. КОНЦЕНТРАЦИЯ, ПАКЕТИРОВАНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВКА ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ. МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

В условиях лесосеки сбор лесосечных отходов чаще всего ведут при помощи форвардеров. При этом лесосечные отходы необходимо уплотнять в кузове. Реже используют пакетирующие машины, формирующие из лесосечных отходов цилиндрические связки длиной до 3,5 м и диаметром 0,65—0,7 м. Затем полученные пачки собирают форвардерами и отвозят к месту переработки или хранения.

1.4.1. Машины для повышения концентрации лесосечных отходов

Древесные отходы на лесосеке расположены в деконцентрированном виде. Производительность машин при сборе и транспортировке древесных отходов на погрузочную площадку невелика, так как много времени уходит на погрузку мелких пачек отходов и переезды от стоянки к стоянке. Для повышения производительности машин при транспортировке древесных отходов целесообразно повысить концентрацию их на лесосеке. Это может быть произведено окучиванием отходов вальщиками в процессе разработки лесосеки и укладкой их в кучи после разработки лесосеки или специальными машинами для сбора в кучи или пакетирования лесосечных отходов.

Оборудование для сбора и(или) пакетирования лесосечных отходов устанавливалось в передней (подборщик ветвей челюстного типа СибНИИЛХЭ или машина конструкции А. И. Зайцева [21]) или задней части машины. Кроме этого, сбор и транспортировка лесосечных отходов могли осуществляться с помощью специальной сетки и(или) троса, агрегатированных с трактором с тросочерным оборудованием [52]. Наибольшее распространение получили тракторные грабельные подборщики ПСГ-3, ПС-5 и ЛТ-161 (выпускались на базе тракторов Онежского и Алтайского тракторных заводов), у которых навесное грабельное оборудование устанавливалось сзади трактора (рис. 1.38) [58].

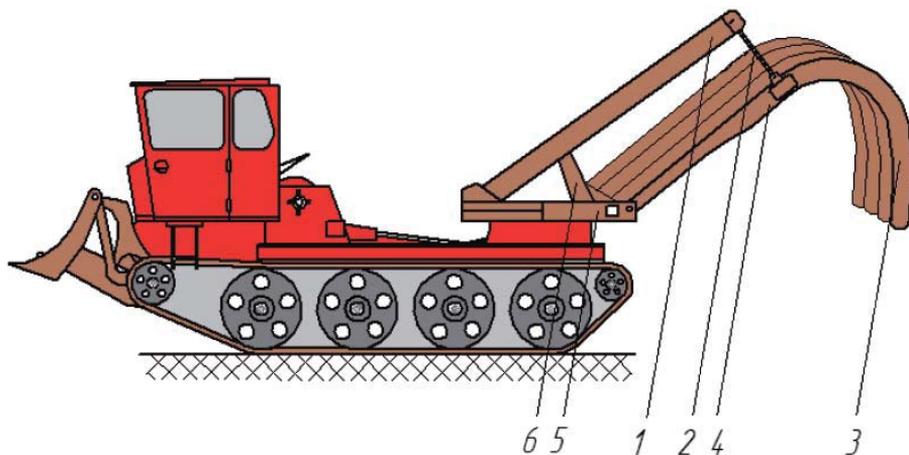


Рис. 1.38. Тракторный грабельный подборщик: 1 — надрамник, 2 — отрезок каната, 3 — собирающий зуб, 4 — рычаг крепления зуба к общей раме, 5 — общая рама, 6 — гидроцилиндр подъема надрамника

Технологический процесс реализуется следующим образом: грабельный подборщик устанавливается на границе лесосеки и, двигаясь перпендикулярно ей, собирает все встречающиеся лесосечные отходы; как только собираемые отходы начинают поднимать грабли настолько,

что они перестают собирать отходы или начинают терять уже собранные, оператор поднимает грабли и оставляет древесные отходы, собранные в кучи. Момент подъема граблей желательно выбирать таким образом, чтобы освобождаемые кучи отходов формировали непрерывные валы, расположенные перпендикулярно ходам грабельного подборщика. При наборе кузова из отходов, сформированных в валы грабельными подборщиками, производительность машин для транспортировки древесных отходов повышается примерно в 1,5—2 раза.

1.4.2. Транспортные лесные машины на базе форвардера

Использование в качестве источника энергии древесного сырья, в том числе отходов лесозаготовительного и деревообрабатывающего производства, требует применения соответствующих машин для их сбора и транспортировки [20, 41, 67].

В свое время на сборе (окучивании) и транспортировке лесосечных отходов применялись отечественные транспортные машины на гусеничном шасси [48, 58, 59], в частности, это разработанная КарНИИЛПом ЛП-23 и разработанная ЦНИИМЕ ЛТ-168 на базе трактора ТБ-1 с гидроманипулятором со специальным захватом и кузовом (платформой). На передний толкатель трактора устанавливались специальные зубья дугообразной формы, которые при необходимости позволяли не только собирать порубочные остатки, но и осуществлять корчевание (рис. 1.39).

В настоящее время для сбора и транспортировки отходов лесозаготовок наиболее часто используется подборщик сучьев, созданный на базе колесного форвардера. Достоинством этих машин является повсеместная распространенность и технологическая оснащенность. По своему компоновочному решению данная машина представляет собой несколько модернизированный колесный форвардер с шарнирно сочлененной рамой. На задней части рамы, как и у обычного форвардера, устанавливается манипулятор с захватом вильчатого типа для сбора сучьев и специальная платформа для их пакетирования и транспортировки к дороге.

Модернизация платформы форвардера путем установки дополнительных поддонов позволяет увеличить грузовое пространство. Если форвардер средних размеров со стандартным объемом грузового пространства может перевозить порядка 4—5 м³ лесосечных отходов, то при соответствующей модернизации объем перевозимого груза может быть увеличен до 8—14 м³.

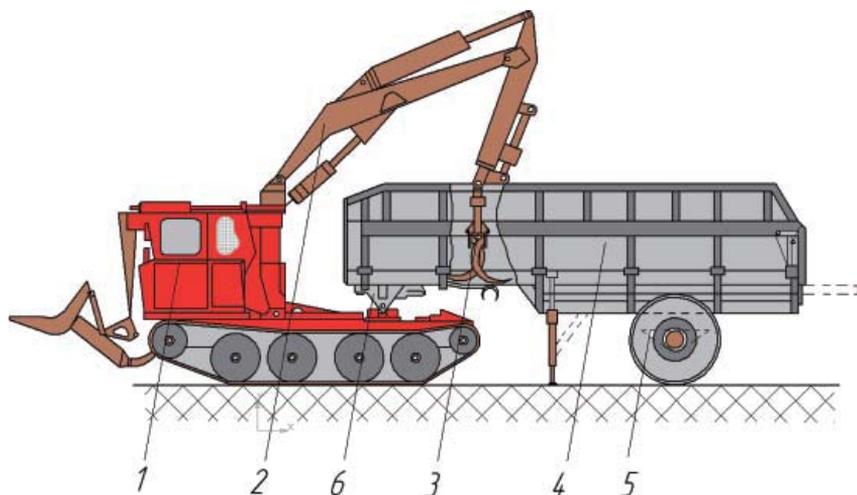


Рис. 1.39. Машина ЛТ-168 для погрузки и транспортировки лесосечных отходов: 1 — трактор ТБ-1, 2 — гидроманипулятор, 3 — грейфер, 4 — кузов полуприцепа, 5 — тележка полуприцепа, 6 — седельное устройство

Для повышения эффективности операции транспортировки отходов дальнейшая модернизация данного типа машин направлена на внедрение устройств для уплотнения погруженных на платформу отходов.

Помимо использования модернизированных форвардеров, производители лесного оборудования предлагают ряд прицепных манипуляторных модулей (для сбора и транспортировки отходов) для агрегирования с тракторами общего назначения (рис. 1.40).



Рис. 1.40. Машина для сбора и транспортировки отходов на базе трактора марки Navo Hukka (компания «Varo Oy» [102])

Форвардеры используют при перемещении сырья на небольшие расстояния до 10 км. При этом на максимальные расстояния перевозят сырье в виде круглых лесоматериалов, желательнее в долготье, но чаще в виде сортиментов длиной 1,5—3 м. Лесосечные отходы из-за их низкой плотности перевозят в пределах лесосеки, максимальное расстояние перевозки вне лесосеки — 3—4 км. Для повышения эффективности перевозки дровяное коротье следует грузить в два штабеля, а лесосечные отходы максимально уплотнять при помощи грейфера, грузить при этом с формированием значительной «шапки», прижимая ее манипулятором. Эффективность перевозки повышается при формировании лесосечных отходов в пакеты.

1.4.3. Пакетировщики-упаковщики

В целях повышения эффективности технологического процесса пакетирования и транспортировки лесосечных отходов путем их уплотнения стали применяться специализированные машины — пакетировщики (прессователи-пакетировщики). Они представляют собой 6- или 8-колесные машины на базе форвардеров. На месте грузовой платформы установлен рабочий модуль — пакетирующая установка. Машина оснащена гидравлическим манипулятором со специальным вильчатым захватом.

Пакетировщики лесосечных отходов различных компаний John Deere 1490, Monra Forrestral 2000, Valmet WoodPac, Rogbico применяются для формирования лесосечных отходов, тонкомерной древесины в цилиндрические пакеты. Достоинством пакетов является удобство манипулирования и транспортировки, высокая полнодревесность, при этом повышается производительность оборудования для измельчения, улучшаются условия хранения и сушки. Существенным недостатком машин является их довольно высокая цена, которая может быть компенсирована только очень высокой эффективностью их эксплуатации.

Различают пакетирующие установки с продольным по отношению к оси установки (рис. 1.41) и боковым сбросом пакета (тюка).

Для трелевки спрессованных древесных отходов в виде пакетов используются те же машины, что и для трелевки сортиментов.

Транспортировка лесосечных отходов на дальние расстояния осуществляется только в виде спрессованных тюков или в виде щепы. Для этих целей используются лесовозы обычного типа с прицепами. Лесовоз с прицепом может транспортировать 65—70 спрессованных тюков из отходов лесозаготовок или 55—60 м³ щепы. Тюки также могут транспортироваться вместе с деловой древесиной, например, в кузов лесовоза могут быть погружены балансы, а в прицеп — тюки из лесосечных отходов.



Рис. 1.41. Пакетирующий модуль Fiberpac на базе John Deere 1490D
(компания «John Deere Forestry» [103])

1.5. Автопоезда для транспортировки щепы

Для транспортировки щепы с лесосек и лесопильных предприятий разработаны и выпускаются автопоезда-щеповозы различных типов [59]. Загрузка автопоездов-щеповозов может осуществляться щепопроводом рубительной машины (см. выше рис. 1.26), кранами, лесопогрузчиками (рис. 1.42), оснащенными специальным грейферным оборудованием для работы с сыпучими грузами, лесотранспортерами, пневмотранспортными установками, а также натаскиванием загруженного контейнера на автопоезд. Реже используют погрузку бульдозерами, которая производится быстро, но при этом необходимо строительство эстакады и место для маневрирования бульдозера.



Рис. 1.42. Погрузка автопоезда-щеповоза лесопогрузчиком

Разгрузка щеповозов производится устройствами для самовыгрузки различных конструкций. В частности, опрокидыванием полуприцепа назад с использованием гидроподъемника, фронтальная разгрузка гидроподъемниками, скребковыми транспортерами или системой разгрузки с помощью сдвижного пола «живое дно». При незначительных объемах перевозки щепы для снижения времени ожидания погрузки используют тягач и систему контейнеров или контейнерных полуприцепов. Недостатком этой системы является необходимость наличия нескольких контейнеров, а также увеличение количества перегрузок щепы.

Ранее в России применялись автопоезда-щеповозы [59]:

- выгружающиеся опрокидыванием полуприцепа назад — ЛТ-7А, ЛТ-57 (ЛТ-57 П), ЛТ-111 с объемом кузова 37, 24 и 74 м³ соответственно;
- выгружающиеся скребковым цепным транспортером — ЛТ-170 с объемом кузова 70 м³;
- выгружающиеся на сторону — ПС-22, ОНЩ-50 (фронтальная разгрузка гидроподъемником) с объемом кузова 22 и 54 м³ соответственно;
- контейнерного типа — 2-ППС-16 и ТМ-12 (погрузка натаскиванием загруженного контейнера, разгрузка — гидроподъемником), объем контейнера 45 и 37 м³ соответственно.

При небольших расстояниях транспортировки топливной щепы потребителю и для освоения разбросанных небольших участков, имеющих небольшие объемы сырья для производства щепы, транспортировка топливной щепы может осуществляться мобильными рубитель-

ными машинами с кузовом на базе автомобиля (см. выше рис. 1.30, б). В этих передвижных машинах между кабиной водителя и кузовом для щепы устанавливаются рубительная установка и манипулятор с захватом для подачи сырья в рубительную машину [59].

Для транспортировки лесосечных отходов и топливной древесины по дорогам общего пользования применяют автопоезда-сортиментовозы, контейнеровозы, фургоны (фуры). Перевозка лесосечных отходов на большие расстояния нецелесообразна из-за их низкой полндревесности, поэтому перевозить следует только дровяные сортименты или пакетированные лесосечные отходы. Использование контейнеров и фургонов позволяет избежать потерь груза и замусоривания поверхности дорог.

В настоящее время в России и Республике Беларусь выпускается ряд перспективных модификаций автопоездов-щеповозов, в частности КАМАЗ-6460 (6×4) + полуприцеп-самосвал 951020 с разгрузкой через задний борт, Тонар-6428 (6×4) + полуприцеп-самосвал Тонар-95236-0000020 с боковой разгрузкой и МАЗ-5516 (6×4) + МАЗ-856102-5010 с боковой разгрузкой автомобиля и прицепа. Эксплуатируются и автопоезда-щеповозы, выпущенные ранее (рис. 1.43, а), но они уступают современным машинам [59].



Рис. 1.43. Автопоезда-щеповозы: а — щеповоз на базе автомобиля МАЗ-509, б — автопоезд-щеповоз с полуприцепом на базе автомобиля Volvo

За рубежом выпускается ряд модификаций автопоездов-щеповозов (рис. 1.43, б): в частности, MAN TGS 33.430 6×6 BBS-WW + полуприцеп-щеповоз Кнарел К100 (разгрузка с помощью сдвижного пола) и Scania R500 CB6x4ENZ + Matec V42KP550 (разгрузка скребковым транспортером).

2.1. Производство дров

2.1.1. Сырье. Виды, основные параметры, ресурсы

Основным сырьем для производства дров является низкокачественная (неликвидная) древесина, а также древесина от смежных производств. В настоящее время основной объем топливной древесины формируется на лесных участках, проходимых рубками, в результате сортировки или потери товарных свойств древесины. Потеря товарных свойств в основном происходит при неправильном или слишком длительном хранении круглой древесины в штабелях, а также ее оставлении на пасажах под снегом, лесосечными отходами. Другим источником сырья для производства дров служит древесина, отбракованная при лесопилении и деревопереработке, ее достоинство — низкое содержание гнили; при наличии спроса кусковые отходы лесопиления — рейки, оторцовки — также могут рассматриваться как кусковое топливо, их основной недостаток — высокое содержание коры. Еще одним источником дровяной древесины является тонкомерная древесина, получаемая в ходе рубок ухода и прореживаний, ее недостаток — малый размер, низкая полндревесность штабелей, трудоемкость обработки для получения топливных дров. В условиях интенсификации строительства и, соответственно, сноса старых деревянных зданий и сооружений хорошим локальным источником топливных дров служат деревянные конструкции сносимых зданий, достоинства этих материалов — достаточно большие локальные объемы и низкая влажность.

Из перечисленных ресурсов самыми доступными, с точки зрения транспортировки, являются утилизируемые деревянные конструкции, но их появление носит случайный характер, однако древесина, получаемая при утилизации конструктивных элементов, обладает существенным недостатком — она содержит большое количество металлических и каменных включений. Наиболее стабильны и предсказуемы, по расположению и формированию значительных объемов, ресурсы топливной древесины, находящиеся на лесосеках и образующиеся в результате сплошных рубок. Отходы лесопильного производства также стабильны в образовании, но достаточно часто они утилизируются внутри предприятия. Древесина от рубок ухода тоже вполне стабильна при формировании, но доля дровяной древесины, которая может использоваться в целом виде, в ней невелика, а объемы на лесосеках незначительны.

2.1.2. Продукция. Форма, влажность

Топливая древесина выпускается в виде кругляка или колотых поленьев, при использовании как сырья отходов лесопиления — реек, досок, брусков. Параметры дров определяются предполагаемым их применением. Для целей бытового отопления используют короткие — 300—400 мм поленья, для промышленного использования — 1000—1500 мм [14]. Поперечное сечение поленьев определяется двумя параметрами: площадью сечения — не более 100 см² [107] и длиной периметра — не более 22 см [14].

Основным параметром, определяющим топливную ценность древесины, является ее влажность. Абсолютная влажность свежесрубленной древесины может достигать 120 % [51], абсолютная влажность древесины после хранения в течение нескольких месяцев в штабелях составляет 50—70 % в зависимости от сезона.

При производстве дров для каминов важной становится эстетическая сторона — для этой цели производят самую качественную древесину, имеющую хороший внешний вид, правильную форму, без длинных отщепов и отставшей коры.

2.1.3. Стандарты. Качественные характеристики

В целом требования к топливным дровам описываются следующими стандартами [13, 14]: ГОСТ 3243-88 Дрова. Технические условия, ГОСТ Р 54220-2010 Биотопливо твердое. Технические характеристики и классы топлива. Последний стандарт базируется на европейском стандарте EN 14961-1:2010 Solid biofuels — Fuel specifications and classes.

В дальнейшем все рекомендации будут основываться на российском стандарте.

Форма поставки дров — кругляк, поленья. Диаметр дров определяют по максимальному поперечному размеру, примеры показаны на рис. 2.1. Поставки могут осуществляться как в виде только кругляка и поленьев, так и их смеси, при этом, если партия дров на 85 % состоит из колотых поленьев, считают, что партия колотая.

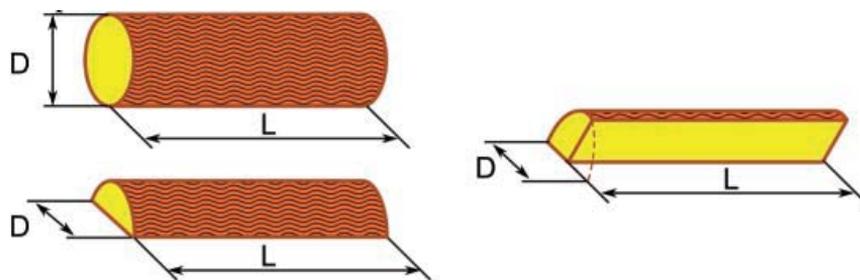


Рис. 2.1. Размеры дров по ГОСТ Р 54220-2010 [14]: L — длина, D — диаметр

Рекомендуемые обозначения основных характеристик при описании партий дров при их поставке приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Параметры дровяной древесины по ГОСТ Р 54220-2010 [14]

Обозначение	Диапазон длин	Обозначение	Диапазон диаметров	Обозначение	Максимальная влажность в пробе
L20	20 см ± 2 см	D2-	$D < 2$ см (мелкая древесина для розжига)	W15	< 10 %
L25	25 см ± 2 см	D10	$2 \text{ см} < D < 10$ см	W20	15 %
L30	30 см ± 2 см	D2	$4 \text{ см} < D < 12$ см	W25	20 %
L33	33 см ± 2 см	D5	$10 \text{ см} < D < 15$ см	W30	25 %
L40	40 см ± 2 см	D20	$10 \text{ см} < D < 20$ см	W35	30 %
L50	50 см ± 4 см	D25	$10 \text{ см} < D < 25$ см	W40	35 %
L100	100 см ± 5 см	D35	$20 \text{ см} < D < 35$ см	W45	40 %
L100+	указывают максимальное значение	D35+	$D > 35$ см (указывают максимальное значение)	W50	45 %
				W55	50 %
				W55+	55 %

2.1.4. Технологические операции на заготовке дров

Несмотря на то, что производство дров представляется простым процессом, при организации производства промышленного масштаба возникает ряд задач как организационно-логистического, так и чисто технологического свойства. Полный набор операций при производстве дров включает: погрузку сырья, доставку, разгрузку, штабелевку, хранение и сушку сырья, подачу в обработку, раскряжевку, расколку, облагораживание, штабелевку готовых дров, их пакетирование, маркировку, отгрузку готовых дров, разгрузку у потребителя.

Погрузка сырья, при перевозке его в долготье, осуществляется манипуляторами, оснащенными грейферными захватами, при погрузке мерного кругляка — вручную или многолепестковыми грейферами. Укладку долготья производят обычным способом в несколько штабелей или поперек кузова грузовика, при этом длина сырья не должна превышать габарита грузовика по ширине и не должна быть меньше расстояния между стойками коников.

Сырье для производства дров перевозят в лесовозных автомобилях или кузовных грузовиках с соблюдением рекомендуемых мер по безопасной перевозке навалочных грузов. Регулярная укладка сырья позволяет более полно использовать вместимость кузова.

Выгрузку сырья производят манипулятором с грейфером или опрокидыванием кузова. В первом случае есть возможность формирования штабелей, во втором — куч с низкой плотностью расположения сырья.

Штабелевку и хранение сырья для производства дров осуществляют традиционными способами. Дровяное долготье хранят в штабелях, исключая контакт с грунтом и по возможности минимизируя попадание атмосферных осадков, особенно если планируется длительное хранение. Рекомендуемая высота штабелей не более двух длин долготья, ширина штабелей равна длине долготья, длина штабеля выбирается в соответствии с размерами площадки хранения и технологическими требованиями, по краям штабеля рекомендуется установка подпорных стоек для исключения самораскатывания. При хранении дровяного коротья организация штабелей, из-за чрезмерной трудоемкости их формирования, не рекомендуется. Для исключения самораскатывания необходимо ограничить кучу по контуру вертикально установленным дровяным коротьем.

Для повышения высшей теплоты сгорания топлива и увеличения продажной цены топливную древесину целесообразно высушивать. Естественным путем сушка происходит непосредственно на лесосеке, в штабелях круглого леса, в поленницах колотых дров у поставщика. Дополнительно дрова досушиваются на складе потребителя при соответствующей организации хранения. Тщательная сушка также снижает

ет потери энергосодержания древесного топлива от разрушительной деятельности грибов и микроорганизмов, особенно при длительном хранении. Применение искусственной сушки, как правило, нецелесообразно, так как чрезмерно увеличивает производственные издержки.

Способ подачи в обработку зависит от уровня механизации и перерабатываемых объемов дров. При ручной подаче дровяное долготье или коротье рабочие переносят на площадку разделки или к приемному устройству разделочного станка. При механизированной подаче материалы переносят при помощи манипуляторов с грейферными захватами. При разделке деревьев непосредственно на лесосеке подача как таковая может отсутствовать, перемещаться вдоль ствола будет рабочий с инструментом.

Раскряжевка — деление исходного сырья на отрезки заданной длины. Производится при помощи ручных пил, бензопил, круглых пил. Силовое резание из-за большой вероятности переработки крупномерного сырья не используется. При раскряжевке для исключения непроизвольных движений бревна, преодоления заклинивания или выбрасывания готового полена необходимы фиксация бревна прижимами или заклинивание в козлах.

Раскалывание кругляка проводят внедрением раскалывающего устройства вдоль или поперек оси лесоматериала. Раскалывание может быть динамическим, когда используется энергия, запасенная в раскалывающем органе, или силовая, когда внедрение инструмента происходит с небольшой скоростью (0,1—0,2 м/с).

В некоторых случаях для улучшения товарного вида дров и уменьшения количества древесного мусора проводят облагораживание дров. В ручном режиме не применяется, в механизированном варианте поленья направляются в барабан типа «беличье колесо», где, взаимодействуя с прутьями и друг с другом, поленья освобождаются от слабосоединенных частей — коры, отщепов и мусора.

Штабелевку готовых дров производят вручную, при затаривании в небольшие пакеты — 20—40 кг также укладывают поленья и штабеляют пакеты вручную. При формировании больших пакетов — 1—2 м³ их транспортируют с помощью вилочных или манипуляторных погрузчиков. Использование мешков, установленных на европоддоны для удобства засыпки поленьев, позволяет избежать ручной укладки. При формировании паллет укладка поленьев и обшивка досками производятся вручную, рекомендуемые объемы 1—2 м³, формирование штабелей осуществляется вилочными погрузчиками.

После затаривания дров или формирования паллет проводят маркировку дров, указывая компанию-производителя, породу, вид дров, влажность или энергосодержание в единице объема, объем древесины (с указанием — плотный, штабельный или насыпной), дату упаковки.

Отгрузка потребителю при отправке паллетами или мешками объемом 1—2 м³ производится погрузчиками, при отправке насыпью или мелкими пакетами без укладки на европоддоны погрузка, как правило, ручная. Разгрузка у потребителя производится опрокидыванием кузова; при наличии погрузчика используются его возможности; если грузовик оснащен манипулятором соответствующей грузоподъемности, то — манипулятором.

Перечисленные операции необязательно полностью представлены в технологическом процессе, кроме того, некоторые из них следует применять при значительных объемах производства. Например, облагораживание дров важно, в основном, для каминных поленьев, и если в регионе доля каминных топок невелика, то покупка и применение очистного барабана нецелесообразны. Частично операции по выработке дров перекрываются и их трудно выделить в самостоятельные единицы. При планировании объема единичной упаковки дров следует учитывать средние объемы разовой покупки дров в регионе и формировать упаковки, кратные этому объему.

2.1.5. Оборудование на заготовке дров

Набор оборудования для реализации того или иного технологического процесса производства дров определяется объемом производства, видом выпускаемой продукции, частотой перебазирования производства, стоимостью рабочей силы в регионе.

Дровоколы (колуны) можно классифицировать следующим образом:

- **ручные** — колка дров осуществляется за счет ручного труда оператора, возможно усиленного различными механическими приспособлениями;
- **винтовые** — работают за счет ввинчивания рабочего органа в виде шурупа в древесину, благодаря чему происходит раскалывание чурака [113];
- **гидравлические**, или **цепные**, — раскалывание чурака происходит за счет надвигания упора (толкателя) с древесным сырьем на нож различной формы [114].

Привод может осуществляться: от электродвигателя, вала отбора мощности трактора (или гидросистемы), собственного двигателя или может быть комбинированный привод.

Ручные дровоколы применяются, как правило, только для бытовых нужд и обладают достаточно низкой производительностью. Самый простой набор инструментов включает бензопилу, топор или колун, а также клинья, козлы и колоды для колки.

Раскряжевку ведут на козлах (или в специальном зажимном устройстве типа Smart Holder) или непосредственно на земле с установкой элементарных подкладок, исключающих закусывание пильной шины в пропиле. Использование козел позволяет вести одновременную раскряжевку нескольких бревен, что особенно важно при преобладании сырья малых диаметров. Для обеспечения возможности переработки нескольких бревен и выдерживания заданной длины дров устраивают направляющие из горизонтальных опорных лаг и вертикальных стоек, которые выполняют роль мерок длины дров. Использование устройств типа Smart Holder и Smart Splitter (рис. 2.2, а) в бытовых условиях вполне оправданно, но при крупномасштабном производстве, вероятно, не даст существенного выигрыша в производительности.

При ручной колке рекомендуемая длина поленьев не должна составлять более 0,5 м. Использование колуна предпочтительно, так как его форма (величина угла клина 30° и более) позволяет раскалывать топливный кругляк любых пород, произвольной влажности и не имеет тенденции застревать в прорубе. Для расколки крупных сучковатых кражей или со свилеватой древесиной используются клинья, забиваемые в полено обухом колуна. При таком наборе инструментов много времени будет занимать отска, подноска дров, а также подъем и установка полуполеньев на окончательную расколку. Для упрощения работы можно применять простейшие устройства, исключающие выпадение получаемых поленьев с колоды: отработанная автопокрышка, широкая кольцевая лента, позволяющая разместить 3—4 дровяных кругляка, при этом необходимо увеличить размеры опорной колоды.

В последнее время активно начали использовать колуны на основе конического винта. Такие устройства достаточно быстро раскалывают круглые материалы, нечувствительны к сучьям и свилеватости поленьев, но требуют много труда по перемещению и повороту чураков для полной расколки, дополнительно к подаче и уборке материалов.

В настоящее время цепные колуны с раскалывающим ножом и пластинчатой цепью с толкателями уступают место гидравлическим. Одним из серьезных недостатков цепных колунов является затрудненный контроль за процессом расколки, что влияет на безопасность работы оператора.

При заготовке дров длиной от 0,5 м и до 1,2 м целесообразно заменить топор гидравлическим колуном (рис. 2.2, б). Обычно параметры устройств позволяют раскалывать кругляк диаметром до 0,6 м. Как правило, имеется возможность раскола на несколько частей и управления сечением поленьев. Минусом устройства является необходимость наличия трактора или автономной гидростанции для привода гидравлической системы колуна. Скорость расколки чураков немного меньше, чем при ручной работе, но повышение производительности

обеспечивается меньшим числом переключений поленьев. Дополнительным достоинством гидравлических колунов является возможность смены клина, позволяющая получать примерно одинаковые размеры дров вне зависимости от диаметра перерабатываемого сырья.

**а****б**

Рис. 2.2. Колуны: а — раскалывающее приспособление Smart Splitter, б — гидроколун

При необходимости обеспечить более высокую производительность можно использовать навесные колуны на базе кривошипного механизма или вращающегося лезвия, установленного на маховике. Высокая производительность расколки требует подготовленных объемов топливного коротья и быстрого удаления расколотых материалов. Недостатком указанных систем является невозможность быстрого изменения параметров готовых дров, в частности длины, и ограниченность по максимальному размеру раскалываемого бревна.

Более высокую производительность обеспечивают системы с механизацией основных операций: подачи долготья на раскряжевку, расколки и выноса готовых поленьев. Для подачи используют цепной транспортер, а для раскряжевки — круглые или цепные пилы. Цепные пилы имеют меньше ограничений по диаметрам сырья. Ручные работы остаются на подноске и подаче в обработку дровяного долготья, а также уборке и штабелировании готовых дров. Такие системы обычно приводятся в действие от тракторов общепромышленного назначения. Например, финские установки для производства дров Jara и Palax с приводом от сельскохозяйственного трактора [105, 106]. Длина раскалываемого чурака может быть до 0,7 м, производительность в среднем 2 м³/ч. Для подготовки продукции к отгрузке в состав комплекса включается мобильный погрузчик.

Для работы в лесу или на дворе потребителя применяются различные конструкции машин для производства дров. Все эти машины

представляют собой комбинацию подающего и выводного транспортера, режущего (раскряжевочного) механизма и древокола (рис. 2.3).

Большинство подобных машин являются навешиваемыми на заднюю часть сельскохозяйственных тракторов либо прицепными (рис. 2.4).



Рис. 2.3. Установка для производства дров Яра 305 с приводом от трактора



Рис. 2.4. Установка для производства дров Pilkemaster EVO на прицепной тележке с приводом от автономного двигателя

Выпускаются машины, работающие стационарно от автономного двигателя (электродвигателя) или дизельного двигателя. Машины с электродвигателем имеют небольшие габариты и могут перевозиться с места на место. Некоторые древокольные установки могут работать как от привода трактора, так и от электропривода, например модели Jara 375TRE Expert, 375TRE Pro и др.

Системы с полной механизацией и автоматизацией всех операций оснащаются манипуляторами, рычажными бревноподатчиками, транспортерами, раскряжевочными узлами, колунами, барабанами очистки, погрузочными системами. Готовые дрова подаются в контейнеры или специальные мешки.

Кроме перечисленных способов расколки дров, интересным решением является оснащение харвестерной головки с циклическим протаскивающим механизмом [115, 116], обеспечивающим достаточно высокое усилие протаскивания (до 60 кН), механизмом «Cросо-klarikone», позволяющим использовать ее для заготовки дров. Данный механизм устанавливается в верхней части рамы головки и оснащен раскалывающими ножами различной конструкции, что позволяет менять количество колотых поленьев. Механизм колки дров согласуется с работой протаскивающего и срезающего механизмов головки. Раскалывание осуществляется путем наталкивания ствола сортимента (чурака) на неподвижно закрепленный относительно оси ствола раскалывающий нож. Производительность колки дров из сортиментов на лесопромышленном складе или во дворе потребителя около 2,4 м³/ч. Максимальный диаметр обрабатываемого сырья 42 см, длина — 11 м.

2.1.6. Транспортировка дров

Транспортировка древесного топлива включает транспортировку сырья и транспортировку готовой продукции. Перевозка сырья производится грузовиками, тракторами (рис. 2.5, а) или автопоездами-сортиментовозами. При доставке дров в коротье достаточно часто используют поперечное их размещение. Для увеличения вместимости кузовов при перевозке короткомерных лесоматериалов (длиной до 2 м) возможно увеличение полезного объема кузова за счет вертикальной установки лесоматериалов и формирования шапки, также такая укладка уменьшает вероятность выпадения дров при их транспортировке.



Рис. 2.5. Транспортировка дров: а — перевозка дровяного сырья трактором с прицепом, б — прицеп с дровами

Транспортировку готовых дров производят различными способами, в том числе способами, упомянутыми выше, в зависимости от объема поставки и расстояния перевозки. В случае относительно небольших партий (до 6—8 м³) дрова перевозят в кузовах грузовиков или прицепах (рис. 2.5, б). Данный способ минимизирует затраты поставщика по укладке дров и не требует применения каких-либо специальных погрузочно-разгрузочных средств.

При необходимости более рационально использовать грузоподъемность грузовика рекомендуется штабельная укладка дров, что позволит в 1,5—2 раза увеличить объем перевозимого груза [13]. Данные о полндревесности различных способов укладки дров приведены в табл. 2.2. Недостатком обоих способов перевозки является длительное простаивание в ожидании полной загрузки, что снижает общую производительность труда либо требует большего числа рабочих. Кроме того, при разгрузке у потребителя неизбежен контакт с влажным грунтом, что в дальнейшем может вызвать снижение энергосодержания дров.

Таблица 2.2

**Коэффициенты полндревесности
при различных способах укладки дров**

Способ укладки	Коэффициент полндревесности
Насыпь	0,40
Штабель	0,67
Плотный	1,00

Для увеличения эффективности перевозки дров, особенно крупных партий, целесообразно использовать грузовики фургонного типа или увеличивать борта на максимально возможную высоту.

Перевозка в небольших коробках, мешках или вязанках целесообразна при поставке в розничную торговлю (рис. 2.6, а, б). Желательно складывать коробки или мешки на поддоны и после формирования упаковки объемом 1—2 м³ обвязывать и транспортировать единым объемом (рис. 2.6, в). Последний способ позволяет организовать эффективную погрузку, отгрузку и хранение (рис. 2.7). При перевозке минимизируются риски потерь дров от тряски.

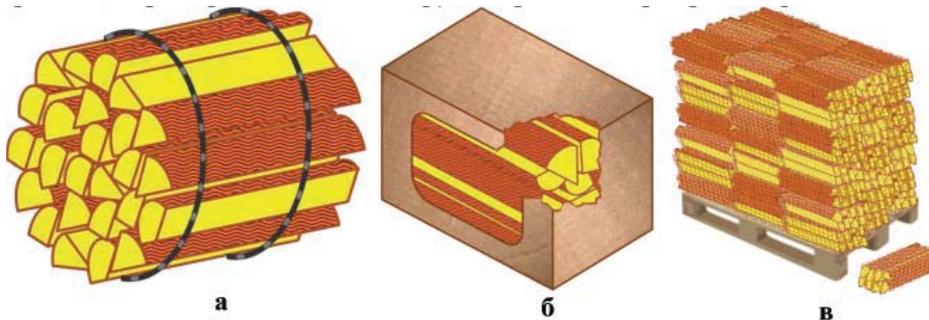


Рис. 2.6. Формы хранения и поставки дров для мелкой розничной торговли:
а — вязанка, б — коробка, в — мешки на поддонах



Рис. 2.7. Формы хранения и поставки дров для крупной розничной торговли:
а — мешок-сетка, б — корзина с сеткой, в — в мешках

При крупном производстве дров рекомендуется организовывать паллетную доставку (рис. 2.8, а), также применяется поставка в сетках объемом 1—3 м³ (рис. 2.8, б). Это позволяет рационально использовать площадь склада и при необходимости удовлетворять повышенный спрос на топливо. Кроме того, улучшаются условия хранения и сушки дров, немного увеличивается вместимость поддонов по сравнению

с поставкой мешками. Для сохранения качества дров и исключения попадания атмосферных осадков рекомендуется использовать тенты, обертывание паллет упаковочной лентой.

**а****б**

Рис. 2.8. Хранение и перевозка дров: а — в ящике, б — в сетке

Таким образом, решение о способе перевозки и виде упаковки принимается исходя из существующих условий рынка, объемов поставок, расстояний перевозки, требований потребителя и в целом должно способствовать минимизации затрат на транспортные операции, которые при перевозках дровяной древесины становятся особенно важными.

2.1.7. Хранение и штабелевка дров

Приобретение, а также поставка дровяного топлива обычно осуществляются заблаговременно и, следовательно, необходима грамотная организация его хранения. Срок хранения не оказывает принципиального влияния на энергетическую ценность дров, если обеспечено их качественное хранение. На первоначальном этапе хранения (1,5—2 месяца) оно оказывает положительное влияние на дрова — происходит их естественная сушка до 22—25 % (абсолютная влажность), но дальнейшее хранение без соблюдения минимальных требований к организации хранения дров может привести к потере их энергетической ценности.

Основные последствия неправильного хранения это: увлажнение дров, что приводит к снижению эффективной теплоты сгорания и повышенному образованию конденсата в дымоходах; гниение дров, что приводит к безвозвратной потере энергетической ценности дров. Так как причиной обоих явлений, как правило, является постоянное увлажнение, то главное требование, которое необходимо обеспечить

на все время хранения, — это отсутствие контакта с водой. Для этого необходимо сделать следующее:

- исключить контакт с грунтовыми и поверхностными водами;
- исключить попадание и накопление атмосферных осадков;
- создать условия для эффективной вентиляции штабеля дров;
- обеспечить отвод воды.

Дополнительное требование к хранению — это устойчивость штабелей и поленниц, как в начале хранения, так и в процессе использования дров, при больших объемах хранения главным может стать требование к эстетическому виду поленниц (рис. 2.9, а). Последнее важно при организации экологического туризма, этнодеревень, небольших гостиничных комплексов и т. д. В этих условиях требование эстетичности может оказаться основным, а энергетические свойства могут не использоваться.



Рис. 2.9. Хранение дров: а — поленницы, б — под навесом, в — стенка навеса с вентилятором для сушки

Хранение дров в кучах непосредственно на грунте может рекомендоваться только как временная мера. Во всех остальных случаях дрова следует размещать, как минимум, под навесом. Кучевое хранение требует много места, не обеспечивает хорошей вентиляции, создает условия для проникновения осадков внутрь кучи, стимулируя развитие грибов и разложение дров.

Самый очевидный и распространенный способ хранения дров у потребителя под специально сооруженным навесом (рис. 2.9, б), с основанием, изолированным от грунта, и вентилируемыми стенками (рис. 2.9, в). В этом случае выполняются все требования по качественному хранению дров.

При доставке и хранении дров на паллетах с деревянной обшивкой создаются условия для хранения даже без навеса, при условии исключения попадания осадков на верхнюю часть паллеты, путем укрытия водоизолирующим материалом — полиэтилен, листовая металл, пластик и т. д. Поддон, на котором располагается паллета, является достаточно хорошим основанием, исключая контакт дров с грунтом.

Единственным слабым местом паллет при открытом хранении могут быть боковые стенки, подверженные воздействию косых дождей, но при хорошей вентиляции и малом сроке хранения это не является принципиальным ограничением. Дополнительным достоинством хранения в деревянных паллетах является возможность полной утилизации, как дров, так и хранилища. Вертикальные и горизонтальные рейки паллеты обеспечивают устойчивость поленницы, а также ее относительно неизменный внешний вид. Хранение в сетках и мешках на поддонах принципиально не отличается от хранения в паллетах.

При устройстве поленниц следует принять меры по изоляции нижних рядов дров от грунта, созданию краевых опор — специально установленных или сформированных из самих дров. Для изоляции от осадков поленницы следует размещать под свесами крыш или укрывать сверху водоизолирующим материалом.

Для создания эстетичного внешнего вида формируются круглые поленницы. В этом случае на земле предварительно размечается окружность с диаметром, равным величине предполагаемой поленницы. Затем устраиваются лаги и осевой столб, при невысокой поленнице столб можно не ставить. Затем укладываются поленья, начиная от внутреннего или внешнего края. Внутренний край полена должен располагаться чуть выше, чем внешний, это позволит создать условия для отвода осадков. Среднюю часть поленницы заполняют вертикально расположенными поленьями, это позволяет создать достаточную вентиляцию и рационально использовать имеющийся объем поленницы. Верхние слои поленницы должны создавать сплошной слой, на них будет приходиться основная нагрузка от осадков, и они должны эффективно их отводить.

Таким образом, использование топливной древесины в целом виде представляет собой достаточно сложный технологический процесс, в ходе которого необходимо решать различные производственные и логистические задачи, но его сложность компенсируется устойчивым спросом на дрова, стабильным в достаточно далекой перспективе.

2.2. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЩЕПЫ

Использование щепы в топливных целях оправдано в случае применения специализированных топок, автоматизированных систем подачи щепы, больших объемов потребления.

2.2.1. Сырье для производства щепы

Сырьем для производства топливной щепы могут быть те же источники, что используются для производства колотых дров. При этом диапазон размеров и форм сырья гораздо шире, так как не устанавливается требование удобства ручного использования. Поэтому тонкомерная древесина, не представляющая интереса для производства цельных дров, прекрасно подойдет для производства щепы. С другой стороны, крупномерная древесина неправильной формы — пни, откомлевки, обломки стволов, стволы с кроной — могут использоваться для выпуска щепы. Перечислим основные виды сырья: низкокачественная (неликвидная) древесина, отходы от лесопильных и деревообрабатывающих производств, отбраковка при сортировке, кусковые отходы лесопиления — рейки, оторцовки, тонкомерная древесина от рубок ухода и выборочных рубок, отработанные части деревянных зданий и сооружений, отходы и неликвиды древесины от лесосечных работ, деревья и кустарники в жилых поселениях, парках и т. д.

Большой перечень ресурсов для производства щепы повышает их доступность и позволяет более точно планировать процессы производства. В целом распределение сырья для щепы имеет те же характеристики, что и распределение сырья для выработки дров.

2.2.2. Продукция. Стандарты. Характеристики

Различают две разновидности измельченного топлива — щепу и дробленую древесину. Отличаются они по двум характеристикам — происхождению и фракционному составу [14]: щепу получают резанием при помощи острых ножей, дробленую древесину — дроблением при помощи тупых инструментов. В дробленой древесине допускается большее варьирование размеров отдельных элементов. Полностью характеристики и варианты обозначений фракционного состава, влажности, зольности и плотности приведены в стандарте [14] или [107].

Таким образом, основные требования к измельченному топливу для производителя сводятся к выдерживанию размерных характеристик щепы, фракционного состава, влажности. Размерные характеристики обеспечивают соответствие топлива подающему оборудованию, фракционный состав — конструкции топки, влажность топлива определяет эффективность сжигания древесного топлива. При наличии подающего и топочного оборудования с возможностью широкого варьирования параметров требования к поставляемому топливу могут устанавливаться на договорной основе.

2.2.3. Технологические операции

Для производства качественного древесного измельченного топлива необходимо проделать следующие операции: сбор, пакетирование, транспортировку и разгрузку, его хранение, подачу сырья на переработку, измельчение, подачу щепы на хранение, погрузку в транспортные средства, транспортировку щепы. Часть операций может отсутствовать или объединяться в рамках одного механизма, реализовываться одним видом оборудования.

Сбор сырья обычно не представляет проблем в условиях лесопильного и деревообрабатывающего производств. Технологические процессы производства пилопродукции построены так, чтобы отходы концентрировались в бункерах или были сформированы в виде пачек, куч, штабелей. Погрузка производится кранами или грейферными погрузчиками. Для перевозки в зависимости от вида сырья используют автолесовозы, кузовные грузовики, самосвалы, фургоны. При необходимости исключения выпадения перевозимого сырья из кузова его укрывают тентом.

Основные проблемы с транспортировкой связаны с перевозкой от лесосеки до потребителя. Перевозка сырья между лесопильными предприятиями и производителями, как правило, осуществляется на меньшие расстояния, и практически всегда есть возможность использования большегрузных фургонов. Обычно сырье сформировано в компактные пачки или располагается в бункерах.

Для транспортировки топливного сырья с лесосек в зависимости от расстояния перевозки могут использоваться форвардеры или лесовозы. Специализированные транспортные средства хотя и выпускаются, но используются достаточно редко.

Хранение сырья для производства топливной щепы не сводится только к накоплению и ожиданию подачи в переработку. В процессе хранения происходит важный для энергетического использования топливной древесины процесс — сушка. Если при планировании минимального срока хранения ориентироваться на материалы [15], то минимальный срок сушки лесоматериалов должен составлять (до абсолютной влажности не более 22 %) не менее 64 дней. Для лесосечных отходов, тонкомерной древесины, ресурсов от рубок ухода этот срок составит не более 1,5 мес. Для исключения вторичного увлажнения необходимо покрывать штабеля и кучи сырья укрывным материалом. Однако при погрузке и перевозке сухих тонкомерных материалов происходит значительная потеря самой мелкой фракции — ветвей диаметром до 6 мм.

Разгрузка сырья производится грейферными захватами. При разгрузке сортиментов или пакетов лесоматериалов формируют штабеля в соответствии со стандартными требованиями по организации хра-

нения лесоматериалов. Дополнительная операция — это укрытие лесоматериалов от атмосферных осадков.

Подача лесоматериалов в переработку производится грейферными кранами. При преобладании круглых лесоматериалов в долготье возможно применение фронтальных погрузчиков. Для снижения издержек склада сырья и подающее или перерабатывающее оборудование необходимо размещать как можно ближе друг к другу.

Измельчение древесины на щепу происходит различными способами. Но в подавляющем числе процессов применяются дисковые и барабанные рубительные машины. Для переработки сырья на топливную щепу обычно используется горизонтальная загрузка. Выброс щепы производится вверх или вбок. При использовании производительного стационарного оборудования щепы обычно подается в транспортер и направляется к месту хранения.

Хранение производят на открытых площадках в бункерах в закрытых хранилищах. При небольшом сроке хранения щепы до отгрузки или подачи в котельную она не требует особого внимания. Однако в случаях длительного хранения требуются меры, предотвращающие саморазогрев щепы. Саморазогрев щепы возникает из-за деятельности микроорганизмов, чему способствует верхний слой щепы, играющий роль теплоизоляции. Вероятность саморазогрева увеличивается при хранении влажной щепы или щепы с большим содержанием гнили, высокой долей лиственных пород, мелкой фракции, коры, загрязнений в топливной щепе. Саморазогрев снижает энергетическую ценность щепы, приводит к пожарам.

Принципиальный метод предупреждения самовозгорания — хранение сырья в целом виде до момента использования.

Для снижения уровня саморазогрева готовой топливной щепы рекомендуется не создавать одновременно высоких и широких куч щепы. По опыту эксплуатации хранилищ [109] рекомендуется высота куч не более 4 м, бурт щепы следует разделить на кварталы траншеями глубиной до основания бурта. При наличии бульдозера следует обеспечить постоянное перемешивание пластов щепы. Для исключения накопления тепла в основании бурта закладываются ячеистые трубы из металла или пластика, возможно деревянные. Все указанные меры дают наибольший эффект в зимнее время; в летнее саморазогрева избежать, как правило, не удастся, а система ячеистых труб препятствует свободному перемещению щепы и увеличивает трудозатраты на обслуживание. При разработке щепы, подвергшейся саморазогреву, следует соблюдать меры пожарной безопасности, исключать нахождение людей в зоне вскрытия разогретого слоя, так как возможно появление открытого пламени, а также резкое увеличение содержания углекис-

лого и угарного газа в атмосфере, особенно это явление опасно в закрытых хранилищах.

2.2.4. Оборудование для производства щепы

Для производства щепы выпускается разнообразное оборудование, одна часть которого является универсальной, а другая — используется в смежных производствах (лесозаготовки и транспорт леса): пакетирующие отходы, форвардеры, стационарные и мобильные рубительные машины, дробилки, щепогалереи, сортиментовозы, щеповозы, контейнеры, погрузчики грейферные и ковшовые, системы типа «живой пол», накопители — скиповые погрузчики, транспортеры — пневматические, ленточные, шнековые, скребковые.

Для производства щепы используют дисковые и барабанные рубительные машины, а для дробленого топлива — различного вида shreddеры. **Шредер** — это измельчитель с низкой частотой вращения рабочих валов и углами резания ножей, близкими к 90°. Кроме режущих устройств применяют и валковые дробилки, принцип работы которых заключается в изламывании древесины на оппозитных ребристых вальцах либо передавливании древесины на плите посредством высоких ребер вальца.

Дисковые дробилки с контрножом представляют собой набор дисков с выступами (не имеющими лезвий), которые размещены между выступами контрножа. Элементы сырья, попадая на контрнож, располагаются вдоль него на выступах, а выступы дисков ломают их. Во всех конструкциях дробилок размеры дробленого топлива определяются расстоянием между соседними вальцами либо между вальцами и контрножами.

При необходимости выпуска щепы или дробленой древесины в соответствии с жесткими размерными параметрами внутри корпуса шредера устанавливаются сортировочные решетки с отверстиями необходимого размера.

Для измельчения древесины используются также молотковые дробилки. Они устанавливаются как оборудование второго ряда, так как не могут перерабатывать продукцию произвольных размеров. Основное их назначение — это гомогенизация древесного топлива для придания большего соответствия требованиям конкретной котельной установки. Как самостоятельное оборудование молотковые дробилки используются крайне редко.

На лесосеках для одновременного сбора, измельчения лесосечных отходов и перемещения полученной топливной щепы к месту хранения используют мобильные рубительные машины. Состав их оборудования традиционно включает: манипулятор с грейферным захватом,

систему подачи сырья — цепная или роликовая, рубительную машину, как правило, барабанную, пневмопровод для щепы, контейнер объемом 5—7 м³ с системой опрокидывания.

При обработке больших скоплений сырья используют мобильные рубительные машины, включающие только рубительный модуль и систему выброса щепы. Они оснащаются собственным двигателем и системой подачи сырья. Готовая щепа подается на кучевое хранение. Для переработки небольших объемов сырья используют навесные системы, состоящие из рубительной машины и системы выброса щепы. В качестве привода обычно используется вал отбора мощности общепромышленного трактора. Надо отметить, что системы без специальной системы подачи сырья требуют осторожности при эксплуатации. При горизонтальной подаче длинномерного сырья (досок, реек, тонкомерных стволов) из-за взаимодействия ножей и длинномерного сырья его свободные концы начинают раскачиваться в вертикальной плоскости и могут нанести удары по оператору. Поэтому для рубительных машин без системы механической подачи лучше использовать вертикальную загрузку.

После измельчения готовая щепа или дробленое топливо направляется при помощи транспортера к месту накопления или хранения. Для перемещения щепы используют транспортеры всех имеющихся видов: пневмотранспортеры, шнековые, скребковые (на базе цепных), ленточные (как вариант ленточные тубуляторы). При больших расстояниях перемещения используют пневмотранспортеры и ленточные, при небольших (до 40 м) — скребковые и шнековые. При перемещении мелкоизмельченной щепы желательно использовать закрытые транспортные системы.

Для хранения значительных объемов щепы и при крупных ее размерах, исключающих сдувание ветром, используют открытое хранение или щепогалереи, для мелкой щепы — ангары. При небольших объемах производства и малоразмерной щепе используют контейнеры или бункеры. Различные накопители применяют в случае постоянной отгрузки щепы потребителю. Обычно топливная щепа не требует особых мер по ее улавливанию, но при необходимости можно использовать специальные приемные устройства — циклоны либо промежуточные бункеры. При поставке щепы для мелких потребителей возможна подача щепы в мешки объемом 1—3 м³.

Хранение щепы и ее последующую подачу на сжигание производят при помощи систем транспортеров. Основная проблема — подача щепы из многотоннажного хранилища к первичному транспортеру. Эта задача решается применением мобильного погрузчика или бульдозера, постоянно перемещающих свежие порции щепы к первичному транспортеру. Другое решение — использование системы «живое дно». Система включает в себя комплект горизонтальных тяг с траверсами

клиновидной формы. Горизонтальные тяги совершают возвратно-поступательное движение, при каждом движении подавая широкой стороной клина порцию щепы. По краю склада располагается транспортер, который подает щепу непосредственно к топке.

Таким образом, мы рассмотрели основные технологические аспекты подготовки измельченного топлива к использованию. По сравнению с кусковым топливом его изготовление и использование проще поддается автоматизации и позволяет точнее дозировать в соответствии с необходимой тепловой мощностью.

2.3. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ (ПЕЛЛЕТ)

2.3.1. Сырье для производства топливных гранул (пеллет)

Сырьем для производства топливных гранул (пеллет) является древесина хвойных пород. Источниками сырья служат лесопильные и деревообрабатывающие производства, 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 оговаривать 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.

2.3.2. Продукция. Стандарты. Характеристики

К топливным гранулам предъявляют широкий набор достаточно жестких требований [14, 107]. Главным с точки зрения их эффективно-го использования является энергосодержание. Размерные показатели гранул определяют возможность их применения на оборудовании потребителя. Кроме указанных, предъявляется ряд требований по влажности и содержанию химических загрязнителей — серы, азота, хлора. Древесные гранулы с высоким содержанием коры склонны к разрушению, особенно в условиях переменной влажности, одновременно растет зольность гранул. Основные характеристики древесных гранул приведены в соответствующих стандартах [14, 107].

2.3.3. Технологические операции

Основные операции, необходимые для получения топливных гранул, включают: прием и хранение сырья — щепы или круглых лесоматериалов; измельчение сырья — для щепы или кусковых материалов это тонкое измельчение (размер частиц до 0,5—1 мм), для круглых лесоматериалов последовательно — рубка щепы и тонкое измельчение; сушка измельченной древесины; гранулирование, охлаждение гранул, удаление негранулированной массы и пыли, упаковка и хранение готовой продукции, отгрузка (рис. 2.10).

Особенностями производства являются увлажнение измельченного сырья до влажности 12 % перед подачей в пресс-гранулятор и необходимость достаточно медленного охлаждения гранул после выхода из гранулятора. Технологические перемещения сырья производятся при помощи пневмотранспортных устройств и шнековых транспортеров. Подача тепла для сушки исходного сырья может осуществляться за счет внешних энергоносителей, но достаточно часто для нагрева воздуха используется часть потока исходной щепы, объем которой зависит от влажности поступающего сырья.

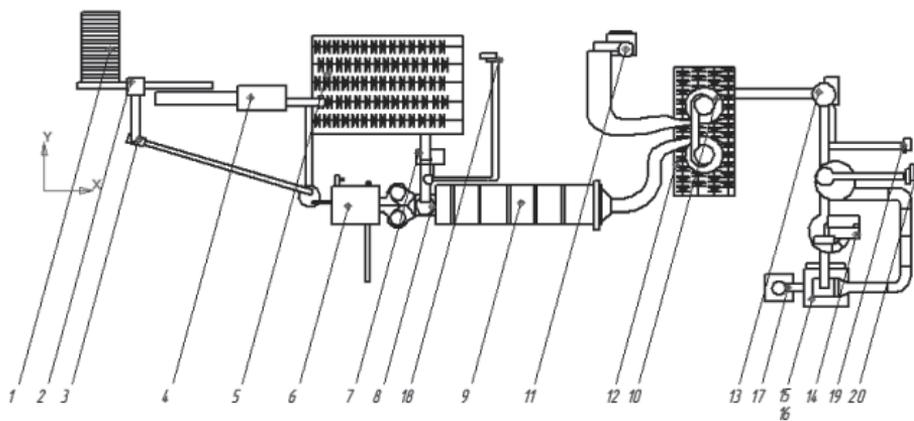


Рис. 2.10. Технологический процесс производства топливных гранул:

- 1 — разоблицатель бревен цепной, 2 — окорочный станок,
- 3 — рубильная машина, 4 — корорубка, 5 — склад щепы,
- 6 — теплогенератор, 7 — дробилка, 8 — бункер сушильного агрегата,
- 9 — сушильный барабан, 10 — циклон сушильного агрегата, 11 — дымосос,
- 12 — склад сухого сырья, 13 — дробилка с бункером-дозатором,
- 14 — пресс-гранулятор, 15 — охладитель гранул, 16 — вибросито,
- 17 — упаковщик гранул, 18, 19, 20 — вентиляторы систем пневмотранспорта

В целом технологический процесс производства топливных гранул обычно полностью автоматизирован и механизирован, процессы подачи и дозирования сырья, тепла, воды регулируются в зависимости от исходного состояния щепы.

2.3.4. Оборудование, применяемое для производства топливных гранул (пеллет)

Основным оборудованием для производства гранул (рис. 2.11, а) являются прессы-грануляторы. Используются две конструкции прессов: с плоской горизонтальной матрицей (рис. 2.11, б) и вертикальной цилиндрической матрицей. Прессующие вальцы, взаимодействуя с матрицей, продавливают древесину через фильеры матрицы. Древесина взаимодействует со стенками фильер и сжимается, разогревается лигнин древесины, плавится и склеивает отдельные частицы древесины в гранулы.

Другим специфическим оборудованием являются охладители топливных гранул после их прессования. Медленное охлаждение необходимо для исключения растрескивания поверхности гранул из-за чрезмерного температурного градиента и создания условий для охлаждения испарением влаги из гранул, а не высвобождением ее разрывом тела гранул. Устройство охлаждения часто совмещается с упаковочным устройством. Иногда охлаждение гранул производится в закрытом транспортере, по пути движения к упаковочному устройству.

Остальное оборудование для производства топливных гранул не является специфическим и применяется во многих отраслях — рубительные машины, бункеры, различные транспортеры, преимущественно закрытого исполнения, барабанные сушилки, циклоны, молотковые мельницы, трубопроводы, упаковочные аппараты, а также мобильные погрузчики — ковшовые и вилочные.



а



б

Рис. 2.11. Производство пеллет: а — готовая продукция, б — плоская матрица

2.3.5. Транспортировка и хранение

Транспортировка топливных гранул производится насыпью или в мешках емкостью 1—3 м³. В зависимости от объема партий исполь-

зуют поставку грузовиками, вагонами или судами. При этом грузят гранулы при помощи пневмотранспортных, ковшовых или шнековых систем. В случае партий объемом до 5000 т может использоваться высыпание гранул из мешков в суда или вагоны. Этот способ используют при небольшой мощности производства (до 20 000 т/год) и для удобства хранения и накопления отгрузочной партии. При отгрузке мешками их устанавливают на поддоны и перемещают вилочными погрузчиками.

Хранение топливных гранул не требует специальных мер. Главное требование — отсутствие прямого контакта с водой. От атмосферных осадков закрывают навесами, от поверхностных вод защищают путем установки на лаги или поддоны. При длительном хранении гранул, по возможности, необходимо избегать резких изменений влажности, которые приводят к разрушению гранул и потере части топлива. Срок хранения гранул практически не ограничен, но использовать гранулы лучше не позднее двух лет. При превышении двухлетнего срока хранения колебания влажности атмосферного воздуха приводят к все большему разрушению гранул.

При внешней простоте выработка топливных гранул требует высокой культуры производства, точного следования технологическим нормативам. В настоящее время рынок топливных гранул в основном экспортный, но по мере роста благосостояния населения, увеличения количества индивидуальных домов сформируется и внутренний рынок России.

2.4. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА БРИКЕТОВ

2.4.1. Сырье для производства топливных брикетов

Топливные брикеты в целом по свойствам аналогичны топливным гранулам. Поэтому требования к сырью и его возможные источники аналогичны: предпочтительный породный состав — древесина хвойных пород; источники сырья — лесопильные и деревообрабатывающие производства; балансовая древесина, неликвидная древесина; размерные характеристики — сыпучие и кусковые отходы; содержание коры не более 5 %. Допустимый уровень содержания коры в исходном сырье позволяет использовать для производства крупные лесосечные отходы. Рекомендуемая влажность сырья — 50—60 %. Следует избегать сырья, загрязненного минеральными включениями и различными покрытиями.

Широко распространено производство топливных брикетов из смеси древесины и угля, торфа, растительного сырья, нефтепродуктов, парафинов. Как правило, такие брикеты имеют высокую теплоту сгорания, но худшие показатели по содержанию серы и азота.

2.4.2. Продукция. Стандарты. Характеристики

Разнообразие форм брикетов гораздо шире, чем гранул. Стандартизованные формы брикетов приведены на рис. 2.12. Принципиальных различий между способами использования брикетов разных форм нет, необходимо учитывать меньшие возможности автоматизации процессов сжигания брикетов. С точки зрения использования брикеты ближе к колотым дровам, чем к топливным гранулам, об этом говорит и расхожее название брикетов «евродрова». Смесовые брикеты обладают большей теплотой сгорания, и это необходимо учитывать при их использовании или выборе топки.

Общие требования к топливным брикетам и их обозначения приведены в соответствующем стандарте [107].

Наиболее распространенная форма брикетов — цилиндрическая, диаметр 70—100 мм. Поверхность брикетов плотная, без нарушений сплошности. Темный, иногда практически черный, цвет некоторых видов брикетов обусловлен особенностями технологических процессов прессования — высоким давлением, нагревом и контактом с воздухом. В таких брикетах наружный обугленный слой служит водоизолирующим покрытием, что повышает стабильность брикетов.

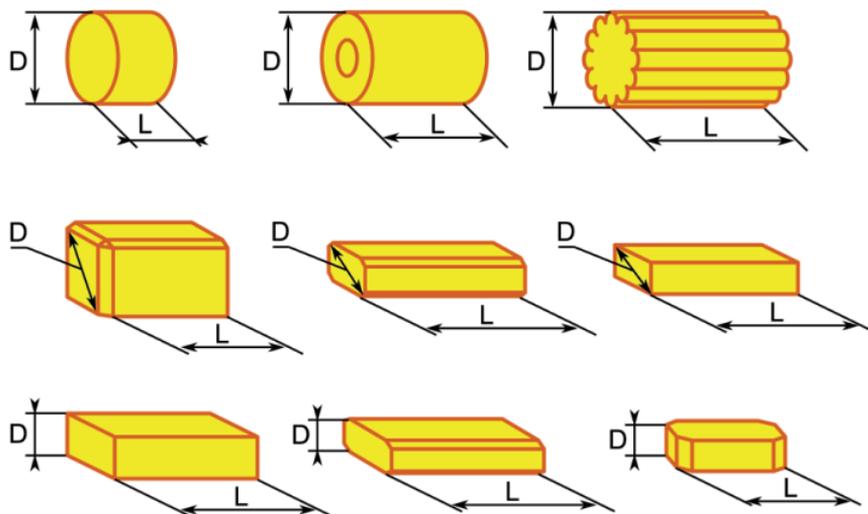


Рис. 2.12. Формы топливных брикетов [107]: L — длина, D — диаметр

2.4.3. Технологические операции и оборудование

Оборудование для изготовления топливных брикетов позволяет создавать предприятия с небольшим объемом выпуска — минимум 50 кг/час и чаще всего нацелено на использование отходов лесопиления или деревообработки. Поэтому производств с использованием круглых лесоматериалов встречается немного. Следовательно, далее будем рассматривать только использование опилок, щепы и кусковых отходов, отмечая, если необходимо, особенности организации процесса на основе использования круглых сортиментов.

Для производства древесных топливных брикетов необходимы операции (рис. 2.13): прием и хранение сырья — опилок, щепы, кусковых отходов, круглых лесоматериалов; измельчение до размеров частиц 1—3 мм — молотковые мельницы для щепы, для круглых лесоматериалов — окорка и измельчение; сушка измельченной древесины до оптимальной влажности — 10—12 % (минимум 4 %) или предельной — 16 %; брикетирование, для экструзивных брикетов — выстойка и охлаждение, упаковка и хранение готовой продукции, отгрузка.

Для перевозки сырья используют грузовики и сортиментовозы, для погрузки — ковшовые и грейферные погрузчики. Хранят сырье на подготовленных открытых площадках и подают на обработку сыпучие и кусковые материалы ковшовыми погрузчиками, круглые лесоматериалы — грейферными манипуляторами.

Тип приемных устройств перерабатывающих линий зависит от вида сырья. Для сыпучих материалов применяют бункерные приемники, для круглых — разобшители бревен и бревноподатчики. При необходимости обработки долготы устанавливают раскряжевочный модуль. Круглые лесоматериалы необходимо окорить, для этого применяют роторные окорочные станки. Подготовленные сортименты подают в рубительную машину и получают щепу.

Сырье с лесопильно-деревообрабатывающих производств обычно поступает в виде смеси — опилок, щепы, кусковых отходов. Для качественной переработки и уменьшения энергозатрат такое сырье обычно сортируют и затем опилки и щепу направляют непосредственно на измельчение, а кусковые отходы — сначала в рубительную машину, а затем на измельчение.

Сушка гомогенизированного сырья проводится для обеспечения заданного качества конечной продукции. Оптимальные условия для брикетирования создаются при влажности 10—12 %. При влажности сырья меньше 4 % снижается пластичность частиц древесины и брикеты получаются склонными к рассыпанию. При влажности свыше 16 % происходит разрыв поверхности брикетов парами воды при выходе из пресса. Для снижения затрат на сушку сырья можно организовать выдержку сырья, но это требует длительного времени и существенных

площадей. Сушку производят в барабанных сушилках с противотоком сушильного агента и сырья.

Подготовленное сырье подается в прессы для брикетирования. Выпускаются прессы трех видов: гидравлические, механические, шнековые. Гидравлические прессы создают наименьшие рабочие давления — 30—40 МПа, действуют циклически и формируют отдельные брикеты. Механические работают непрерывно, создают большие давления 40—60 МПа. Шнековые прессы развивают наибольшие давления 100—110 МПа, работают непрерывно, брикет имеет центральное отверстие, формирующие фильеры подогреваются до 200 °С. Для создания крупномасштабных производств рекомендуются прессы механического действия, их единичная мощность может достигать 2 т/час. При этом они неприхотливы в работе, не требуют встоечных линий, имеют сравнительно небольшие энергозатраты на единицу продукции. Брикеты, получаемые на шнековых прессах, имеют наибольшую плотность — до 1400 кг/м³ и высокую стойкость к влажности. Гидравлические прессы имеют ограниченную производительность, получаемые брикеты не могут долго храниться и требуют стабильных условий хранения.

Брикеты, выходящие из пресса непрерывной трубкой, делят на равные отрезки круглой пилой. Если равных отрезков не требуется, то брикеты отламываются под собственным весом или от контакта с направляющим профилем.

Готовые брикеты на соответствующем оборудовании упаковывают в мешки или пакеты и отправляют на склад или потребителю.

Топливные брикеты имеют большие возможности для распространения и находят сбыт внутри России. Производство в целом требует меньше капитальных затрат, следовательно, при организации коммерческого производства древесного топлива это направление будет достаточно эффективным и стабильным.

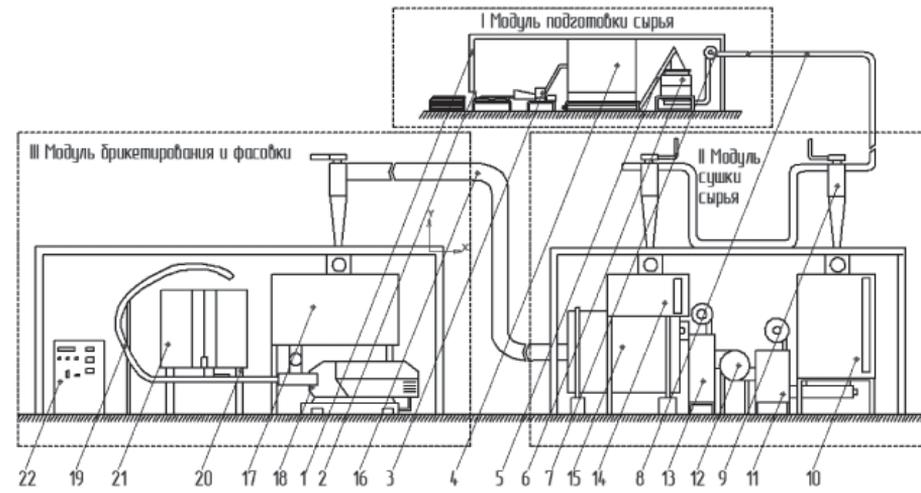


Рис. 2.13. Технологический процесс производства брикетов:

- 1 — контейнер, 2 — транспортер, 3 — рубительная машина,
 4 — автоматизированный склад, 5 — транспортер, 6 — дробилка,
 7 — вентилятор пневмотранспорта, 8 — материалопровод, 9 — циклон,
 10 — топливный бункер теплогенератора, 11 — топочное устройство теплогенератора, 12 — камера дожига теплогенератора, 13 — смешительная камера теплогенератора, 14 — бункер-накопитель сушильного агрегата,
 15 — сушильный агрегат, 16 — материалопровод, 17 — бункер-дозатор брикетировочного пресса, 18 — брикетировочный пресс, 19 — линия охлаждения готовой продукции, 20 — устройство фасовки готовой продукции, 21 — мешок на 10—30 кг,
 22 — главный шкаф управления

3.1. Особенности древесной биомассы как топлива

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.

Основной потерей тепла в любом котлоагрегате является потеря тепловой энергии с уходящими газами. Величина этой потери определяется температурой отходящих газов. При сжигании топлив, содержащих серу, во избежание серно-кислотной коррозии хвостовых поверхностей нагрева, эта температура поддерживается на уровне не ниже 200...250 °С. В древесной биомассе отсутствуют сера и фосфор. Поэтому при ее сжигании эта температура может быть понижена до 110...120 °С. Таким образом эффективность использования полученной тепловой энергии может быть повышена примерно в два раза. Этот эффект достигается за счет установки дополнительных хвостовых поверхностей нагрева в агрегатах, работающих на древесном топливе.

Факторы, определяющие эффективность процесса сжигания древесной биомассы, следующие:

- влажность;
- зольность;
- плотность;
- элементный состав;
- однородность породного состава и размеров;
- соответствие конструкции топки используемому виду древесного топлива.

Влажность древесного топлива может изменяться в очень широких пределах. В мебельном и деревообрабатывающем производствах

влажность некоторых видов отходов составляет 10...12 %, на лесозаготовительных предприятиях влажность основной части отходов составляет 45...55 %, влажность коры при окорке отходов после сплава или сортировки в водных бассейнах достигает 80 %. При сплаве древесины, сортировке ее в водных бассейнах, хранении под открытым небом влажность древесины повышается. Предельное количество воды, которое может поглотить древесина, складывается из максимального количества связанной и свободной влаги. Наибольшее количество связанной влаги определяется пределом насыщения стенок клеток, а количество свободной влаги зависит от объема пустот между клетками и внутри них. В целях экономии энергии необходимо в котельных лесопромышленных предприятий предусмотреть проведение мероприятий по снижению влажности древесного топлива, поступающего в топочные устройства.

Влияние влажности древесной биомассы на эффективность работы котельных установок чрезвычайно существенно. При сжигании абсолютно сухой древесной биомассы с малой зольностью эффективность работы котлоагрегатов приближается к эффективности работы котлоагрегатов на жидком топливе и превосходит в некоторых случаях эффективность работы котлоагрегатов, использующих некоторые виды каменных углей.

Повышение влажности древесной биомассы неизбежно вызывает снижение эффективности работы котельных установок. Это вынуждает постоянно разрабатывать и проводить мероприятия по недопущению попадания в древесное топливо атмосферных осадков и почвенных вод. В перспективе, видимо, придется вернуться к атмосферной сушке древесного топлива.

Характерной особенностью древесины как топлива является незначительное содержание внутренней золы (не превышает 1 %). В то же время внешние минеральные включения у отходов лесозаготовок иногда достигают 20 %. Зола, образующаяся при сгорании чистой древесины, тугоплавка, и удаление ее из зоны горения топки не представляет особой технической сложности. Минеральные включения в древесной биомассе легкоплавки. При сгорании древесины со значительным их содержанием образуется спекшийся шлак, удаление которого из высокотемпературной зоны топочного устройства затруднено и требует для обеспечения эффективной работы топки особых технических решений. Спекшийся шлак, образующийся при сжигании высокозольной древесной биомассы, имеет химическое сродство с кирпичом и при высоких температурах в топочном устройстве спекается с поверхностью кирпичной кладки стенок топки, что затрудняет шлакоудаление.

Зольность древесной биомассы затрудняет ее сжигание. Наличие в древесной биомассе минеральных включений обусловлено примене-

нием недостаточно совершенных технологических процессов заготовки древесины и ее первичной обработки. Необходимо отдавать предпочтение таким технологическим процессам, при которых загрязнение древесных отходов минеральными включениями может быть сведено к минимуму.

Фракционный состав измельченной древесины должен быть оптимальным для данного вида топочного устройства. Отклонения в размере частиц от оптимального как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения снижают эффективность работы топочных устройств. Рубительные машины, применяемые для измельчения древесины в топливную щепу, не должны давать больших отклонений в размере частиц в сторону их увеличения. Вместе с тем наличие большого количества слишком малых частиц также нежелательно.

Выход летучих веществ при сжигании древесного топлива очень высок — он достигает 85 %. Это является также одной из особенностей древесной биомассы как топлива и при полугазовых топках позволяет иметь большую протяженность факела, в котором осуществляется сгорание выходящих из слоя горючих компонентов, создающее условия для эффективной работы радиационных поверхностей нагрева котлоагрегата.

Продукт коксования древесной биомассы — древесный уголь отличается высокой реакционной способностью по сравнению с ископаемыми углями. Высокая реакционная способность древесного угля обеспечивает возможность работы топочных устройств при низких значениях коэффициента избытка воздуха, что положительно влияет на эффективность работы котельных установок при сжигании в них древесной биомассы.

Для обеспечения эффективного сжигания древесных отходов необходимо, чтобы конструкция котлоагрегатов отвечала особенностям этого вида топлива. Здесь имеется в виду то, что у котлоагрегатов для сжигания влажной древесной биомассы должны быть увеличенные конвективные поверхности нагрева и дополнительные площади хвостовых поверхностей нагрева, обеспечивающие снижение температуры отходящих газов до 110...120 °С.

Далее в этом разделе кратко рассмотрены некоторые из названных характеристик древесной биомассы.

3.1.1. Влажность

Влажность древесной биомассы — это количественная характеристика, показывающая содержание в биомассе влаги. Различают абсолютную и относительную влажность биомассы.

Абсолютной влажностью (влагосодержание по сырому основанию) называют отношение массы влаги к массе сухой древесины [10]:

$$W_a = \frac{m - m_0}{m_0} 100, \quad (3.1)$$

где W_a — абсолютная влажность, %; m — масса образца во влажном состоянии, г; m_0 — масса того же образца, высушенного до постоянного значения, г.

Относительной (рабочей) влажностью называют отношение массы влаги к массе влажной древесины:

$$W^P = \frac{m - m_0}{m} 100, \quad (3.2)$$

где W^P — относительная (рабочая) влажность, %.

Пересчет абсолютной влажности в относительную и наоборот производится по формулам:

$$W^P = \frac{100W_a}{100 + W_a}; W_a = \frac{100W^P}{100 - W^P}. \quad (3.3)$$

При расчетах процессов сушки древесины используется абсолютная влажность. В теплотехнических расчетах применяется только относительная (рабочая) влажность.

В зависимости от величины влажности стволую древесину подразделяют на мокрую, свежесрубленную, воздушно-сухую, комнатно-сухую и абсолютно сухую.

Мокрой называют древесину, длительное время находившуюся в воде, например при сплаве или сортировке в водном бассейне. Влажность мокрой древесины W^P превышает 50 %.

Свежесрубленной называют древесину, сохранившую влагу растущего дерева. Она зависит от породы древесины и изменяется в пределах $W^P = 33...50$ %.

Средняя влажность свежесрубленной древесины составляет у ели 48 %, лиственницы 45, пихты 50, сосны кедровой 48, сосны обыкновенной 47, ивы 46, липы 38, осины 45, ольхи 46, тополя 48, березы бородавчатой 44, бука 39, вяза 44, граба 38, дуба 41, клена 33 %.

Воздушно-сухая — это древесина, выдержанная длительное время на открытом воздухе. Во время пребывания на открытом воздухе древесина постоянно подсыхает и ее влажность постепенно снижается до устойчивой величины. Влажность воздушно-сухой древесины $W^P = 13...17$ %.

Комнатно-сухая древесина — это древесина, длительное время находящаяся в отопляемом и вентилируемом помещении. Влажность комнатно-сухой древесины $W^p = 7...11$ %.

Абсолютно сухая — древесина, высушенная при температуре $t = 103 \pm 2$ °С до постоянной массы. В растущем дереве влажность ствольной древесины распределена неравномерно. Она изменяется как по радиусу, так и по высоте ствола.

Влажность коры в свежесрубленном состоянии изменяется в широких пределах. По исследованиям [24], влажность коры отдельных участков бревен колебалась у сосновых сортиментов от 40 до 211 %, у еловых — от 40 до 159 % и у березовых — от 38 до 82 % абсолютной влажности. У коры сосны влажность существенно изменялась по высоте ствола, при этом влажность коры комлевых бревен ниже влажности вершинных. У ели и березы влажность коры по высоте ствола почти одинакова. По данным Жидкова [16], относительная влажность коры хвойных пород увеличивается при сплаве до 80—84 %, влажность луба при этом доходит до 85—90 %.

3.1.2. Зольность

Зола является нежелательной частью топлива, так как снижает содержание горючих элементов и затрудняет эксплуатацию топочных устройств.

Зольностью называют содержание в топке минеральных веществ, оставшихся после полного сгорания всей горючей массы [38].

Зола подразделяется на внутреннюю, содержащуюся в древесном веществе, и внешнюю, попавшую в топливо при заготовке, хранении и транспортировании биомассы. В зависимости от вида зола имеет различную плавкость. Легкоплавкой называется зола, имеющая температуру плавления ниже 1350 °С. Среднеплавкая зола имеет температуру плавления в пределах 1350—1450 °С. У тугоплавкой золы эта температура выше 1450 °С. Внутренняя зола древесной биомассы является тугоплавкой, а внешняя — легкоплавкой.

Различные породы и части дерева содержат разное количество золы (см. табл. 3.1).

Таблица 3.1

Распределение золы в частях дерева для различных пород [10]

Порода	Количество золы в абсолютно сухой массе, %		
	Ствол	Кора	Ветви, сучья, корни
Сосна	0,2—0,7	1,4—2,2	0,3—0,7
Ель	0,2	2,3	0,3—0,4
Береза	0,2—0,4	2,4	0,3—0,6
Осина	0,2—0,4	2,7	0,3

Содержание внутренней золы стволовой древесины изменяется в пределах от 0,2 до 1,17 %. На основании этого в соответствии с рекомендациями по нормативному методу теплового расчета котельных агрегатов [53] в расчетах топочных устройств зольность стволовой древесины всех пород должна приниматься равной 1 % сухой массы древесины. Это правомерно, если попадание минеральных включений в измельченную стволовую древесину исключено [38].

Зольность коры больше зольности стволовой древесины. Одной из причин этого является то, что поверхность коры во время роста дерева обдувается атмосферным воздухом и улавливает при этом содержащиеся в нем минеральные аэрозоли.

По наблюдениям, проведенным для сплавной древесины в условиях лесопильных и деревообрабатывающих предприятий, зольность продуктов окорки составляла у ели 5,2 %, у сосны — 4,9 %. Повышение зольности коры в этом случае объясняется ее загрязнением во время сплава хлыстов по рекам.

Содержание золы в различных составных частях коры, по данным работы [29], показано в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Содержание золы в различных составных частях коры

Порода	Содержание золы, %	
	Луб	Кора
Сосна	2,19	1,39
Ель	2,23	2,31
Береза	2,43	0,52
Осина	2,73	—

Зольность коры различных пород в расчете на сухую массу, по данным работы [35], составляет: сосна 3,2 %, ель 3,95, береза 2,7, ольха 2,4 %. По данным НПО ЦКТИ им. И. И. Ползунова, зольность коры различных пород варьировала от 0,5 до 8,0 %.

Зольность элементов кроны превышает зольность древесины и зависит от породы древесины и места ее произрастания. По данным [29], зольность листьев — 3,5 %. Ветки и сучья имеют внутреннюю зольность от 0,3 до 0,7 %. Однако в зависимости от типа технологического процесса заготовки древесины их зольность существенно изменяется из-за загрязнения внешними минеральными включениями. Загрязнение ветвей и сучьев в процессе заготовки, трелевки и вывозки наиболее интенсивно при влажной погоде весной и осенью.

Древесное топливо содержит различные примеси в виде частей негорючих компонентов — золы. Образование золы является нежелательным, так как при этом требуется очистка дымовых газов от частиц

с последующим захоронением частиц золы и шлака. Зола древесины, в основном, формируется из частиц почвы и песка, которые поглощаются корой. Меньшая доля также попадает с солями, поглощенными в период роста деревьев.

Зола также содержит тяжелые металлы, вызывающие нежелательные экологические воздействия. Однако содержание тяжелых металлов в золе древесины обычно более низкое, чем в золе других твердых видов топлива.

Особая характеристика золы — ее свойство сохранения тепла. Для конструкций котлов, использующих решетку, зольность является важной характеристикой с точки зрения защиты решетки от тепла пламени.

Древесина также содержит соли, что является важным для процесса сжигания. Это, прежде всего, соли калия (*K*) и частично натрия (*Na*). Как правило, содержание *K* и *Na* в древесине настолько мало, что оно не вызывает проблем в традиционных отопительных технологиях [29].

Хотя зольность древесного топлива, как и других твердых биотоплив, низкая (несколько процентов), плавкостные характеристики золы напрямую влияют на работу топки. Плавление золы может вызывать ее шлакование и возникновение плотных отложений на поверхностях нагрева.

3.1.3. Плотность

Плотность материала характеризуется отношением его массы к объему. При изучении этого свойства применительно к древесной биомассе различают следующие показатели: плотность древесинного вещества, плотность абсолютно сухой древесины, плотность влажной древесины.

Плотность древесинного вещества — это отношение массы материала, образующего стенки клеток, к занимаемому им объему. Плотность древесинного вещества одинакова для всех пород древесины и равна 1,53 г/см³.

Плотность абсолютно сухой древесины есть отношение массы этой древесины к занимаемому ею объему:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0}, \quad (3.4)$$

где ρ_0 — плотность абсолютно сухой древесины; m_0 — масса образца древесины при $W^p = 0$; V_0 — объем образца древесины при $W^p = 0$.

Плотность влажной древесины представляет собой отношение массы образца при данной влажности к его объему при той же влажности:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w}, \quad (3.5)$$

где ρ_w — плотность древесины при влажности W^p , m_w — масса образца древесины при влажности W^p , V_w — объем, занимаемый образцом древесины при влажности W^p .

В настоящее время все показатели физико-механических свойств древесины определяются при абсолютной влажности 12 % и пересчитываются на эту влажность.

Плотность стволовой древесины. Величина плотности стволовой древесины зависит от ее породы, влажности и коэффициента разбухания K_p . Все породы древесины по отношению к коэффициенту разбухания K_p разделяются на две группы. К первой группе относятся породы, у которых коэффициент разбухания $K_p = 0,6$ (белая акация, береза, бук, граб, лиственница). Ко второй группе относятся все остальные породы, у которых $K_p = 0,5$.

По первой группе для белой акации, березы, бука, граба, лиственницы плотность стволовой древесины можно вычислить по следующим формулам:

$$\rho_w = 0,957 \frac{100}{100 - 0,4 \cdot W^p} \rho_{12}, \quad W^p \leq 23 \% ; \quad (3.6)$$

$$\rho_w = 0,810 \frac{100}{100 - 0,4 \cdot W^p} \rho_{12}, \quad W^p \geq 23 \% . \quad (3.7)$$

Для всех остальных пород плотность стволовой древесины вычисляется по формулам:

$$\rho_w = 0,946 \frac{100}{100 - 0,4 \cdot W^p} \rho_{12}, \quad W^p \leq 23 \% ; \quad (3.8)$$

$$\rho_w = 0,823 \frac{100}{100 - 0,4 \cdot W^p} \rho_{12}, \quad W^p \geq 23 \% , \quad (3.9)$$

где ρ_{12} — плотность при стандартной влажности, т. е. при абсолютной влажности 12 %.

Плотность элементов кроны деревьев. Плотность элементов кроны практически не изучена. В топливной щепе из элементов кроны преобладающим по объему компонентом является щепа из сучьев и ветвей, близкая по показателям плотности к стволовой древесине. Поэтому при проведении практических расчетов в первом приближении можно принять плотность элементов кроны равной плотности стволовой древесины соответствующей породы.

3.1.4. Элементный состав

Древесную биомассу в том виде, в котором она поступает в топку котлоагрегатов, называют рабочим топливом. Древесная биомасса состоит из углерода, водорода, кислорода, азота, золы и влаги. Для ха-

характеристики топлива в теплотехнических расчетах пользуются понятиями сухая масса и горючая масса топлива. Сухая масса топлива представляет собой в данном случае биомассу, высушенную до абсолютно сухого состояния. Горючая масса топлива — это биомасса, из которой удалены влага и зола.

Элементный состав горючей массы стволовой древесины практически одинаков для всех пород. При теплотехнических расчетах, наладке топочных устройств, сжигающих стволовую древесину и т. п., принимать следующий состав стволовой древесины в расчете на горючую массу: $C = 51 \%$, $H = 6,1 \%$, $O = 42,3 \%$, $N = 0,6 \%$.

Элементный состав коры различных пород изучен слабо. Анализируя немногочисленные данные, можно сделать вывод о том, что для различных пород он находится в следующих пределах: $C = 49,0 \dots 58,0 \%$; $H = 5,2 \dots 7,0 \%$; $O = 38,0 \dots 45,9 \%$.

3.1.5. Теплота сгорания древесной биомассы

Теплотой сгорания древесной биомассы называется количество тепла, выделяемое при сгорании 1 кг вещества. Различают высшую и низшую теплоту сгорания. Высшая теплота сгорания — это количество тепла, выделившееся при сгорании 1 кг биомассы при полной конденсации всех паров воды, образовавшихся при горении, с отдачей ими тепла, израсходованного на их испарение. Низшая теплота сгорания — количество тепла, выделившееся при сгорании 1 кг биомассы, без учета тепла, израсходованного на испарение влаги, образовавшейся при сгорании этого топлива. Ее значение определяется в кДж/кг.

Теплота сгорания стволовой древесины зависит только от двух величин: зольности и влажности. Низшая теплота сгорания горючей массы стволовой древесины практически не зависит от породы и равна 18,9 МДж/кг (4510 ккал/кг).

Исследования по теплоте сгорания коры различных пород древесины очень малочисленны, и можно привести лишь ориентировочные данные по данному показателю. Для вычисления можно принять следующие значения низшей теплоты сгорания коры различных пород древесины в расчете на горючую массу: кора сосны — 20890 кДж/кг, кора ели — 19330 кДж/кг, кора березы — 19950 кДж/кг, кора осины — 20780 кДж/кг, кора лиственницы — 21870 кДж/кг.

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

3.1.6. Жаропроизводительность древесного топлива

Жаропроизводительностью обычно называется максимальная температура горения, развиваемая при полном сгорании топлива без избытка воздуха, т. е. в условиях, когда все выделяющееся при сгорании тепло полностью расходуется на нагрев образующихся продуктов сгорания.

Термин «жаропроизводительность» предложен в свое время Д. И. Менделеевым как характеристика топлива, отражающая его качество с точки зрения возможности использования для осуществления высокотемпературных процессов. Чем выше жаропроизводительность топлива, тем выше качество тепловой энергии, выделяющейся при его сжигании, тем выше эффективность работы паровых и водогрейных котлов. Жаропроизводительность представляет собой предел, к которому приближается реальная температура в топке по мере совершенствования процесса сгорания.

Жаропроизводительность древесного топлива зависит от его влажности и зольности. Жаропроизводительность абсолютно сухой древесины всего на 5 % ниже жаропроизводительности жидкого топлива. При влажности древесины $W^p = 70\%$ ее жаропроизводительность понижается более чем в 2 раза. Влияние зольности древесины на ее жаропроизводительность значительно слабее влияния на этот фактор влажности.

3.2. ТЕОРИЯ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

3.2.1. Стадии сжигания

Эффективное и полное сгорание является необходимым условием использования древесины в качестве экологически приемлемого вида топлива. Процесс сгорания должен обеспечивать высокую степень использования энергии, и, следовательно, полное уничтожение древесины, и не должен вызывать образования нежелательных в экологическом отношении соединений. Чтобы началось горение, требуются следующие условия:

- горючий материал;
- кислород (воздух);
- достаточно высокая температура.

Для поддержания непрерывного процесса сжигания необходимо выполнение следующих условий:

- должна быть обеспечена адекватная смесь топлива и окислителя (воздуха) в контролируемом соотношении;
- пламя в топке должно передавать часть своего тепла поступающему топливу с целью обеспечения непрерывного процесса сжигания.

Важно понимать, что газы сгорают в виде пламени, которое нагревает твердые частицы, и что при сжигании древесины приблизительно 80 % энергии выделяется в виде газов, а оставшаяся часть в виде древесного угля.

В упрощенном виде процесс горения древесного топлива может быть описан путем его разделения на четыре зависящих от температуры стадии:

- сушка, происходит при достижении температуры 200 °С;
- выход летучих веществ элементов, при 350 °С начинают выделяться в первую очередь метан CH_4 и окись углерода CO ;
- возгорание газообразных летучих веществ, происходит около поверхности горящего слоя при температуре около 600 °С;
- горение твердого углерода, происходит в горящем слое при температуре свыше 800 °С.

Чтобы обеспечить хороший результат горения, важно, чтобы топливо в топке находилось во всех указанных выше фазах. Это достигается постоянной подачей топлива и воздуха. Подаваемый воздух делится на первичный и вторичный. Первичный воздух, обеспечивающий главным образом две фазы горения, подается в горящий слой, в то время как вторичный, предназначенный для сжигания газообразных веществ, подается в пространство над горящим слоем. Теоретически необходимое для полного сгорания топлива количество воздуха можно рассчитать исходя из состава топлива. При полном сгорании весь углерод превращается в двуокись углерода, весь водород — в воду, вся сера — в двуокись серы, в то время как кислород и азот существуют только в виде газов кислорода (O_2) и азота (N_2). Для каждого топлива, таким образом, существуют высшие теоретические значения — например, сколько двуокиси углерода может образоваться при сжигании того или иного вида топлива.

Для хорошего выгорания топлива требуется, как правило, больше воздуха, чем это теоретически необходимо. Этот избыток воздуха выражается так называемым коэффициентом избытка воздуха, обозначаемым в расчетах буквой λ . Избыток воздуха выражает соотношение между действительным количеством воздуха и теоретически необходимым.

Если результаты измерений показывают, что несмотря на большой избыток подаваемого воздуха, по сравнению с теоретически необходимым, полного сгорания топлива все же не происходит, это указы-

вает на неправильное распределение воздуха в топке, то есть его неправильное использование. Плохие результаты при большом избытке воздуха указывают также на неправильное распределение топлива по колосниковой решетке. Если топливо горит слишком быстро или слишком медленно, то это означает, что система подачи воздуха не выполняет свою функцию.

Подача топлива должна быть равномерной, в противном случае потребность в воздухе тоже будет неравномерной. Непосредственно перед загрузкой в топку должен иметься буферный запас топлива, чтобы небольшие нарушения его подачи со склада не влияли на процесс горения.

3.2.2. Этапы горения древесины

Учитывая то, что процесс горения является сложным процессом, более подробно этапы горения древесины будут рассмотрены в этом разделе.

1-й этап: Процесс сушки и начало пиролиза (или газификация) являются первыми этапами процесса сгорания твердого топлива. На установках сжигания биомассы большой мощности с непрерывной подачей топлива эти процессы происходят на различных участках колосниковой решетки. Однако на установках периодического действия имеется четкое разделение (также во времени) между этапами выделения летучих веществ и сгорания углей.

При сжигании частиц больших размеров наблюдается некоторое перекрытие этапов горения; при дозируемой загрузке топлива, например, при сжигании дров в дровяных печах и каминах, степень перекрытия этапов горения значительно больше.

Процесс сушки: испарение влаги происходит уже при достаточно низкой температуре (50—100 °С). Часть энергии, выделяемой в процессе горения, уходит на испарение воды, что уменьшает температуру в топке, замедляя процесс сжигания топлива. В котлах на древесном топливе поддержание процесса горения становится невозможным, если влажность древесины превышает 60 % при определении по влажной основе. Испарение содержащейся во влажной древесине влаги и последующий нагрев водяного пара требуют значительных затрат энергии, что приводит к падению температуры ниже минимального уровня, требуемого для обеспечения процесса горения. Следовательно, влажность является одной из наиболее важных переменных характеристик топлива.

2-й этап. Пиролиз можно определить как термическую деструкцию (выход летучих веществ) в отсутствие подаваемого снаружи окисляющего вещества. Продуктами пиролиза являются, в основном, смола,

уголь и газы с низким молекулярным весом. Также могут выделяться значительные количества CO и CO_2 . Переменные факторы, от которых зависят количество и свойства продуктов, образующихся в процессе пиролиза, включают вид топлива, температуру, давление, скорость нагрева и время реакции.

Выход летучих веществ из древесины начинается при температуре $200\text{ }^{\circ}C$, скорость выхода увеличивается с повышением температуры. Сначала происходит разложение гемицеллюлозы и затем, при более высокой температуре, разложение целлюлозы. При температуре $400\text{ }^{\circ}C$, когда произошло полное выделение большинства летучих веществ, скорость выхода их компонентов резко возрастает. Однако при температуре $400\text{—}500\text{ }^{\circ}C$ может наблюдаться низкая скорость выхода летучих веществ, определяемая процессом разложения лигнина, происходящим в пределах всего температурного диапазона, но вызывающим наибольшие потери основного веса при более высоких температурах.

Газификацию можно определить как термическую деструкцию (выход летучих веществ) в присутствии подаваемого снаружи окисляющего вещества. Термин «газификация» также применяется в отношении реакций окисления угля, например CO или CO_2 . Если процесс пиролиза обычно оптимизируют по максимальному выходу угля или смолы, то процесс газификации оптимизируют по максимальному выходу газа. Температура газификации составляет от $800\text{ }^{\circ}C$ до $1100\text{ }^{\circ}C$. Выделяемый газ содержит, в основном, CO , CO_2 , H_2O , H_2 , CH_4 и другие углеводороды. Газификация может осуществляться такими окислителями, как воздух, кислород, пар, CO_2 .

Сгорание в идеальном случае можно определить как полное окисление топлива. Горячие газы, выделяемые при сгорании топлива, могут применяться для прямого нагрева в различных целях в установках сжигания топлива малой мощности, для нагрева воды в котлах систем центрального отопления малой мощности, для нагрева воды с целью выработки электроэнергии в установках большей мощности, в качестве источника технологического тепла или для нагрева воды в системах центрального теплоснабжения.

Горение влажного твердого топлива наглядно может быть показано на примере его горения на решетке, где часть процессов происходит в слое топлива, а часть — в топочном объеме. На решетке протекают следующие процессы:

- процесс сушки — начинается сразу после попадания топлива на решетку, поскольку температура слоя начинает увеличиваться;
- процесс выделения летучих веществ — начинается при температуре топлива $100\text{—}105\text{ }^{\circ}C$ (прежде всего углеводородов), в результате структура топливных частичек становится пористой;

- воспламенение топлива — в зависимости от его вида происходит в диапазоне температур 220—300 °С; хвойное дерево воспламеняется при 220 °С, лиственное — до 300 °С и сухой торф при 225—280 °С;
- горение углерода — заканчивается при температуре 800—900 °С, затем зола обрушивается с решетки в бункер для золы.

Происходящие на решетке процессы могут быть разделены на эндотермические, при которых происходит поглощение тепла (сушка и пиролиз), и экзотермические — с выделением тепла (горение). Прогрев топлива в зоне сушки и в верхней части зоны пиролиза (начальная часть) происходит, в основном, за счет излучения пламени и горячих поверхностей топки, так как между кусочками топлива, находящимися в зонах горения и сушки, отсутствует непосредственный контакт.

Чем более влажное топливо сжигается, тем большее количество тепла необходимо затратить на подсушку топлива и нагрев его до температуры воспламенения. Таким образом, при сжигании влажного топлива не должно быть охлаждающих топку поверхностей нагрева или их влияние должно быть незначительным. Постоянно высокая температура горячих керамических поверхностей топки необходима для того, чтобы границы зоны сушки оставались в желаемых пределах (в верхней части решетки), а также для своевременного воспламенения топлива.

При сжигании сухого топлива охлаждение топочных поверхностей, напротив, может оказаться полезным. Поскольку на сушку и разогрев сухого топлива необходимо затратить меньшее количество тепла, то излучение от нагретых излучающих поверхностей и пламени может привести к повышению температуры в слое топлива до уровня, при котором зола становится вязкой или плавится. Расплавление золы, в свою очередь, приводит к забиванию решетки и ее поломке, кроме того, температура керамических топочных поверхностей может достичь опасно высокого уровня, при котором может начаться плавление керамики. Поэтому любая конструкция топки предназначена для сжигания топлива с определенной влажностью.

Основное тепловыделение при сжигании древесного топлива и торфа, ввиду высокого выхода горючих веществ у этих топлив, происходит не в слое топлива, а в топочном объеме. Горение летучих веществ, выделившихся в результате пиролиза, начинается в топочном объеме при температуре 500—600 °С. Воспламенение летучих веществ происходит при определенной температуре, а также при наличии в топочном объеме свежего воздуха. Воздух для горения, подающийся снизу решетки, называют первичным (или нижним) дутьем, а дополнительный воздух, необходимый для горения летучих веществ, называют

вторичным (или верхним) дутьем, причем при сжигании таких топлив доля вторичного воздуха превышает долю первичного.

3.2.3. Потери теплоты при горении и коэффициент полезного действия

При вычислении потерь теплоты при горении можно исходить из результатов газового анализа сухих или влажных дымовых газов. Здесь рассматриваются потери, рассчитываемые на основе методики, базирующейся на анализе сухих дымовых газов, поскольку данный метод хорошо согласуется с современной измерительной техникой и позволяет выявить роль водяных паров, образующихся из влаги топлива и при горении водорода топлива.

Различают следующие потери теплоты при горении:

- потери с физической теплотой сухих уходящих газов;
- потери теплоты от содержания угарного газа (CO), углеводородов и других горючих газовых компонентов в сухих уходящих газах. Данные потери представляют собой потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива;
- потери теплоты со шлаком и уносом, которые состоят из двух частей: с физической теплотой уноса и шлака и от неполного выгорания углерода, содержащегося в золе;
- потери теплоты, обусловленные образованием водяного пара при сжигании влажного топлива.

Как правило, водяной пар в дымовых газах находится в перегретом состоянии, поэтому данный компонент потерь теплоты представляет собой энергосодержание водяного пара (точнее, теплоту испарения и перегрева) и учитывается при вычислениях к.п.д. исходя из высшей теплоты сгорания топлива (брутто).

Коэффициент полезного действия при горении определяется на основе так называемого метода обратного теплового баланса: $\text{к.п.д.} = 100 - \text{суммарные потери}$, где суммарные потери и к.п.д. выражены в процентах.

Потери теплоты при горении нельзя отождествлять с потерями котла или котельной, так как последние содержат дополнительные слагаемые потерь, например, потери от наружного охлаждения котла, в случае парового котла — потери, обусловленные продувкой, в случае нескольких котлов — потери от протечек воздуха через котел, находящийся в резерве, и т. д. [50].

3.2.4. Факторы, характеризующие эффективность процесса горения

На практике потери теплоты при горении определяются на основе газового анализатора дымовых газов с применением современных из-

мерительных устройств, выводящих результат измерений в цифровом виде, причем в данных результатах может отражаться также процент общих потерь [50].

В ходе анализа дымовых газов напрямую измеряются температура дымовых газов, содержание CO_2 или O_2 и содержание CO , на основе которых основная часть потерь теплоты может быть легко рассчитана и измерением которых на практике, в основном, и ограничиваются. Наибольшими потерями теплоты обычно являются потери с физической теплотой уходящих газов, которые зависят, кроме температуры, от коэффициента избытка воздуха α .

Коэффициент избытка воздуха определяется как соотношение между действительным количеством воздуха, отданным на горение, и количеством воздуха, теоретически необходимым для полного сгорания, и является одним из важнейших параметров, характеризующих процесс горения. Коэффициент избытка воздуха определяется на основе анализа дымовых газов.

Многие газоанализаторы не позволяют измерить напрямую содержание углекислого газа, а определяют его на основе измеренного содержания кислорода.

При сжигании древесины относительно сложно обеспечить достаточно однородное распределение воздуха по всей зоне горения, поэтому в этом случае для достижения полного сгорания значения коэффициента избытка воздуха часто составляют 1,4 и выше. В то же время при сжигании жидкого топлива или газа оптимальные значения коэффициента избытка воздуха, как правило, находятся в пределах 1,02—1,15.

Потери теплоты от химической неполноты сгорания могут быть определены с большой точностью по содержанию CO в дымовых газах. Высокое содержание CO (начиная с 0,5 %) указывает также на возможное содержание в дымовых газах несгоревших частичек углерода, которое легко определяется по темному цвету дыма.

3.3. ТЕХНОЛОГИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 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:

- 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 регулируемыми отборами.
- 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.
- 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.
- 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.

3.3.1. Прямое сжигание 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.

3.3.2. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии

Преимущество комбинированной выработки тепла и электроэнергии состоит в том, что при этом может быть использовано до 85—90 % энергии топлива. Из них приблизительно 20—30 % вводимой энергии может быть преобразовано в электроэнергию, в то время как 55—70 % вводимой энергии будет преобразовано в тепло. Таким образом, путем комбинирования выработки тепла и электроэнергии общее использование энергии топлива увеличивается [25].

Наиболее эффективным способом признается совместное производство тепловой и электрической энергии, но строительство ТЭС целесообразно в регионах, где есть проблемы энергодефицита и возможности гарантированной поставки биотоплива.

3.3.3. Выработка тепловой энергии

Как топочные устройства, так и вся технологическая схема котельной усложнены настолько, насколько разнообразно и насколько низкого качества топливо используется в котельной. Для того чтобы оптимизировать расходы и стоимость производимого тепла, на оборудовании небольшой мощности стремятся использовать топливо более высокого качества, например пеллеты. Применение топливной щепы, коры, влажных отходов приводит к необходимости применения сложных технологических решений и, как правило, с точки зрения экономической целесообразности это является оправданным при больших мощностях. Топка вместе с котлом является основной технологической единицей котельной. Конфигурация топки и выбор технологии сжигания сильно зависят от свойств топлива.

По многим причинам производство тепловой энергии из биотоплива для коммунальной энергетики России в диапазоне мощности 0,5—10,0 МВт является наиболее перспективным направлением развития биоэнергетики на древесном топливе.

В качестве биотоплива, в зависимости от местных условий, можно рассматривать древесное топливо в виде щепы, брикетов или древесно-топливных гранул (пеллет).

Для сжигания топливной щепы с естественной влажностью отлично подходят установки для сжигания на механических решетках в диапазоне мощности 0,3—10 МВт.

Такие установки хорошо зарекомендовали себя в Скандинавии и России. Они позволяют использовать в одном топочном устройстве торф и древесную щепу и являются важной частью энергетического проекта.

3.4. СЖИГАНИЕ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА И ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ТОПОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Для сжигания древесного топлива в лесной промышленности и на предприятиях коммунальной теплоэнергетики наибольшее распространение получили топки, основанные на слоевом способе сжигания. Конструкции этих топочных устройств наиболее просты, надежны в эксплуатации и могут быть приспособлены к часто изменяющемуся фракционному составу и влажности древесного топлива. Топки, работающие по слоевому способу, наиболее подходящие для автоматизированных котельных. По этой причине мы более подробно рассмотрим технологии слоевого способа сжигания.

Слоевой способ сжигания древесной биомассы может быть реализован путем использования следующих принципов организации слоя [10]:

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

Так как свойства древесного топлива варьируются в очень широких пределах, то применяются различные способы сжигания данного твердого топлива, которые были указаны выше, а именно:

- слоевое сжигание — этому классу принадлежат различные конструктивные группы: неподвижная решетка и механизированная (подвижная);
- пылевидное сжигание — используется редко, например, при совместном сжигании древесных пылевидных отходов и жидкого топлива;
- сжигание в кипящем слое — используется как так называемый пузырьковый, так и циркуляционный слой;
- газификация топлива, с последующим сжиганием образовавшихся горючих газов в газомазутных котлах.

Способы (технологии) сжигания подбираются в зависимости от типа топлива, влажности и гранулометрического состава. Очень важно понимать, что для каждого вида древесного топлива существует своя специальная технология. Котельные, предназначенные для топлива с влажностью менее 30 %, не будут эффективны ни для сжигания влажного биотоплива с содержанием воды около 50 %, ни для обогороженного древесного топлива (пеллеты, брикеты). Влажное сырье не будет сгорать по причине того, что ему необходима очень высокая температура внутри котла, достигать которой нет смысла, если использовать более сухое топливо. Конечно, гранулы сгорать в таком

котле будут, но при этом потеряют экономическую целесообразность, поскольку стоимость котла, работающего на гранулах, ниже, чем на влажной или сухой (до 35 %) биомассе — опилках, щепе и т. д.

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 с мощностью до 5 МВт выполняются со слоевой топкой, при большей мощности предпочтение отдается топкам с кипящим слоем [50] (табл. 3.3).

Таблица 3.3

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

Технология сжигания	Минимальная мощность, МВт	Характерная мощность, МВт
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

В каждой области применения котлов, работающих на биотопливе, со временем сформировались характерные мощности (табл. 3.3) и сложились предпочтительные технологические решения, соответствующие специфике области, с соответствующим уровнем автоматизации.

Характерных особенностей в сжигании биотоплива очень много. Например, в топливной щепе из верхушек деревьев хвойных пород присутствует хвоя. При сжигании хвои (в результате цепочки химических реакций) в топке образуется щелочь натрия, что может привести к коррозии стальных котлов.

В области малых и средних мощностей наиболее распространенным технологическим решением является сжигание в слоевых топках. Исторически слоевые топки подразделяли на топки с ручным и автоматизированным режимом подачи топлива. В настоящее время доля топок с ручным управлением сильно уменьшилась и даже в котлах частных домов все чаще используется автоматизированная подача топлива.

На практике наиболее часто применяются следующие способы сжигания в слоевых топках:

- сжигание древесного топлива в горизонтальном слое;
- сжигание древесного топлива в вертикальном слое;

- сжигание топлива в наклонном слое;
- шахтные топки;
- топки с неподвижной решеткой.

Более подробно рассмотрим топки с неподвижной и подвижной решетками, которые наиболее часто используются для сжигания биотоплива.

Топки с неподвижной решеткой. Существует множество различных типов решеток, которые могут быть классифицированы следующим образом:

- неподвижная решетка;
- механическая (подвижная) наклонная решетка;
- цепная решетка;
- решетки специального назначения для сжигания специфических топлив, например отходов.

Ниже представлены топки с наиболее распространенными видами решеток.

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 углерода (кокса). Угол наклона неподвижной решетки примерно равен углу естественного откоса используемого топлива. В зависимости от топлива и конструкции элементов решетки рекомендуются следующие углы наклона решеток [29]:

- колосниковая наклонная решетка для сжигания воздушно-сухого кускового торфа, опилок и щепы — 32° — 36° ;
- ступенчатая решетка для сжигания торфа — 30° .

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

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

Топки с механической (подвижной) решеткой. Широкое применение за рубежом и в России получили топки с наклонно-переталкивающими решетками различных модификаций [25].

Подвижная колосниковая решетка представляет собой наклонную решетку, состоящую из чередующихся фиксированных и подвижных колосниковых элементов [29]. 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. Колосники решетки, изготовленные из жаропрочных стальных сплавов, имеют 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.

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 на содержание кислорода в уходящих газах, но и на оксиды углерода и азота [25].

Характерным примером топки с механической решеткой является топка TRF шведской фирмы KMW ENERGI AB, движение элементов решетки которой осуществляется в шахматном порядке, что обеспечивает продвижение и равномерную толщину слоя топлива. Топка комплектуется отдельно от котла. Данная топка 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, имеющая конусную решетку с нижней подачей, позволяет сжигать топлива, имеющие как очень низкую, так и высокую влажность (до 65 %).

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, где 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.

Ключом к высокоэффективному горению, обеспечивающему низкий уровень вредных выбросов, является система регулирования и оптимального распределения воздуха, содержащая дутьевые вентиляторы с регулируемой скоростью вращения. Кроме того, применяется регулируемая рециркуляция дымовых газов, позволяющая управлять тепловыделением в слое топлива и обеспечивающая полное сжигание с малым уровнем выбросов NO_x и CO в широком диапазоне видов топлив.

Если топки, предназначенные для сжигания биотоплива и торфа, конструктивно выполнены в виде предтопок, то в котельной их необходимо объединять с подходящим котлом. Многие производители конструируют и поставляют топку и котел как одно целое, особенно при небольших мощностях. В таких установках проще организовать, например, золоудаление из-под решетки, вертикальных дымогарных труб, устройств по очистке дымовых газов.

Если в котле предполагается сжигание сухого топлива, то необходима организация охлаждения стен топки установкой поверхностей нагрева. От условий охлаждения стен топки напрямую зависит, какое топливо и с какой влажностью можно сжигать. При сжигании сухого топлива, например пеллет, а также отходов столярного производства или мебельной промышленности температура топочного объема под-

держивается в нужных пределах прежде всего за счет охлаждаемых топочных поверхностей. Кроме того, может возникнуть необходимость в формировании зоны летучих веществ таким образом, чтобы полностью исключить излучение факела на слой топлива.

Сжигание влажного топлива в охлаждаемых топках приводит к понижению температуры на решетке, так как условия сушки топлива не отвечают необходимым критериям. В результате появляются несгоревшие частички топлива в шлаке и происходит неполное горение летучих веществ, приводящее к резкому снижению эффективности горения, выбросу сажи и невыгоревших газов в дымовую трубу, а также к засмолению поверхностей нагрева и дымогарных каналов.

В стенах топки могут размещаться воздушные каналы, с помощью которых осуществляется их охлаждение. За счет этого одновременно происходит предварительный подогрев воздуха, подаваемого на горение, что улучшает условия горения влажного топлива. Такие топки очень распространены и хорошо подходят для сжигания умеренно влажного топлива, например, лесной щепы, характерная влажность которой находится в пределах 35—55 %.

Дополнительной возможностью регулирования температуры в топке является рециркуляция дымовых газов. Данный метод позволяет в определенной степени уменьшить тепловыделение и температуру на решетке при одновременном увеличении тепловыделения в зоне горения.

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).

Топка, как правило, имеет форму параллелепипеда. В нижней части топки вместо колосников располагаются воздухораспределительные решетки с форсунками, к которым подводится воздух под давлением. Над форсунками находится слой инертного материала (песка).

Истекание воздуха из форсунок вызывает движение частиц инертного материала в виде «кипения». Сжигание топлива происходит в ванне раскаленного инертного материала. В результате активного перемешивания частиц топлива с раскаленным инертным материалом и дутьевым воздухом процессы теплообмена в кипящем слое протекают чрезвычайно интенсивно, происходит быстрая и эффективная подготовка частиц топлива (испарение влаги, выход летучих веществ) и их сгорание.

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. 3.1 показана схема топки с циркулирующим кипящим слоем фирмы ВDC (США).

Преимущества технологии сжигания в «кипящем» (псевдоожигенном) 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.

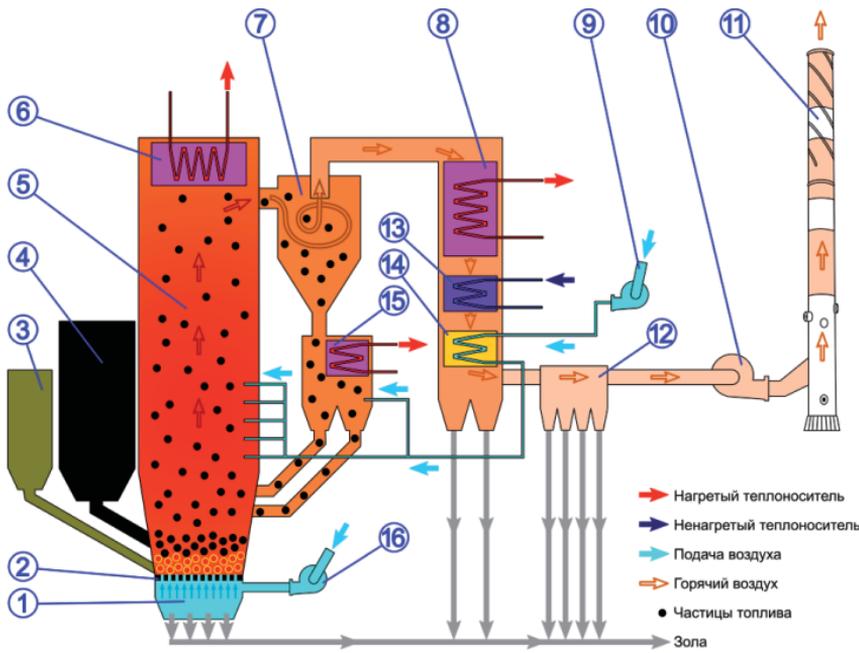


Рис. 3.1. Топка с кипящим слоем: 1 — первичный воздух, 2 — известняк, 3 — топливо, 4 — вторичный воздух, 5 — камера топки, 6 — циклон, 7 — подача воды, 8 — воздух, 9 — вентилятор нагнетания вторичного воздуха, 10 — вентилятор-дымосос, 11 — дымовая труба, 12 — электрофильтр для очистки дымовых газов, 13 — подогреватель поступающей воды (экономайзер), 14 — подогреватель поступающего воздуха, 15 — парогенерирующие панели, 16 — вентилятор нагнетания первичного воздуха

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.

На рис. 3.1 представлена топка с кипящим слоем [10]: в патрубок 1 подается первичный воздух, через шнековый питатель 2 — измельченный известняк, через патрубок 3 — топливо. В объеме 5 продолжается горение взвешенных частиц топлива. В циклоне 6 происходит очистка уходящих газов. Уловленные частицы догорают в бункере, в котором размещены змеевиковые теплообменники 7, греющие питательную воду котла. Дополнительный воздух для дожигания твердого уноса подается через патрубок 8.

Типовая схема ТЭС на биотопливе состоит из следующих узлов:

- система подачи топлива;
- топка и топочная решетка сжигания в «кипящем» (псевдоожигенном) слое;
- теплообменник-экономайзер;
- система донного удаления песка;
- электростатический (мешочный) фильтр очистки отработанных газов;
- система удаления летучей золы.

В качестве примера можно рассмотреть современные котлы для ТЭС с псевдоожигенным «кипящим» слоем (BFB) от компании Varor (Финляндия), которые спроектированы для достижения высокой эффективности и возможности эксплуатации в сочетании с низкими выбросами. «Кипящий» (псевдоожигенный) слой — это слой природного песка или другого керамического материала высотой 300—500 мм и температурой 800—900 °С, который псевдоразжижается первичным потоком воздуха через воздушные сопла в дне топочной решетки.

Технология сжигания биотоплива в «кипящем» слое компании Varor Finland Oy позволяет эффективно и экологически безопасно сжигать биотопливо в диапазоне мощностей от 5 до 100 МВт. Выделено 7 основных классов мощностей в интервале 5—100 МВт для котельных технологии Steamtec, в особых случаях мощность может быть увеличена и свыше 100 МВт.

Котлы, оснащенные топками с «кипящим» слоем, изготавливаются как водогрейные, так и паровые. При мощностях свыше 10 МВт пред-

лагаются Vapor-Steamtec технические решения для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии.

Для технологии Vapor-Steamtec стандартным топливом являются отходы деревообработки, например: щепа, кора, стружка, а также фрезерный торф. Технология «кипящего» слоя позволяет сжигать влажное топливо. При подходящих условиях влажность топлива может превышать 60 %. Обычно показатель содержания влаги варьируется от 35 до 65 %. Биомасса подается в котел через огнестойкую систему подачи топлива и желоб. Имеется возможность получить систему боковой подачи для древесных отходов и твердых вторичных видов топлива (Solid Recovered Fuels, SRF). Это требует непрерывного наблюдения за отработанными газами. «Кипящий» горячий песок эффективно высушивает и насыщает газом топливную биомассу. В камеру сгорания подается вторичный и третичный воздух для чистого и эффективного многоступенчатого сгорания биомассы. Потоками воздуха управляет система автоматики, чтобы добиться высокой эффективности и низких выбросов. Слой песка, температура которого обычно составляет около 850 °С, при необходимости остужают путем разбавления первичного воздуха повторно используемым (рециркулирующим), отработанным. Применение топок с «кипящим» слоем позволяет утилизировать громадное количество угольных отходов, накопленных в терриконах около угольных шахт и обогатительных фабрик. В отвальной пустой породе содержится значительное количество неиспользованного твердого топлива, самовозгорание которого приводит к загрязнению атмосферы дымом, оксидами серы и азота.

3.5. ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ, ТРАНСПОРТИРОВКИ И СЖИГАНИЯ ЩЕПЫ

3.5.1. Оборудование котельной для сжигания щепы

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.

Проектно-конструкторские и строительно-монтажные работы включают ряд этапов [38]:

- определение исходных параметров установки, предназначенной для сжигания биомассы;
- технико-экономическое обоснование;
- проектирование;
- согласование;
- планирование производства работ;
- начало работ и размещение заказов;
- надзор за производством строительно-монтажных работ;
- приемо-сдаточные испытания и оформление документации.

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 топки, работающей на биомассе [37], представлена на рис. 3.2.

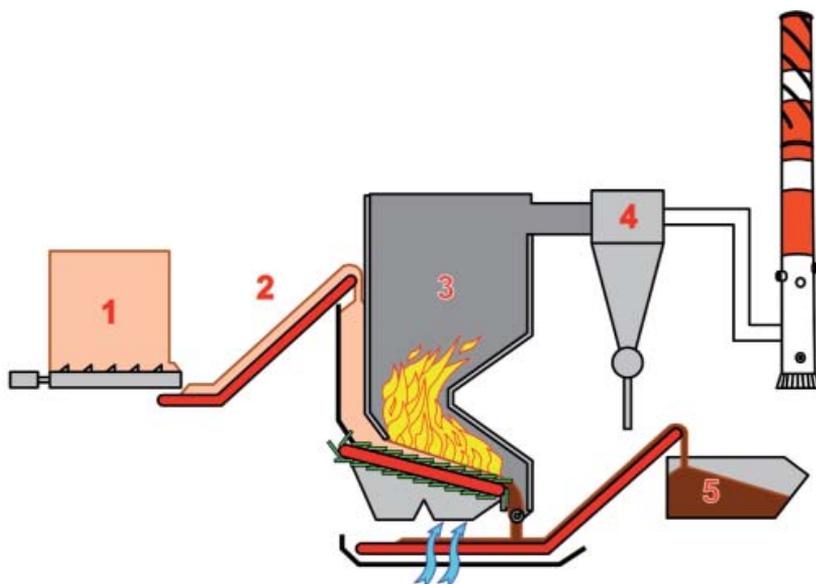


Рис. 3.2. Схема топки, работающей на биомассе:

1 — склад топлива, 2 — транспортер, 3 — топливный бункер котла,
4 — система очистки дымовых газов, 5 — зола

Сжигание топливной щепы происходит в котельной. Котельная представляет собой комплекс зданий и сооружений с котлом (теплогенератором) и вспомогательным технологическим оборудованием, предназначенным для выработки теплоты в целях теплоснабжения.

Различают три типа оборудования для сжигания твердого биотоплива:

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

В оборудование котельной, кроме вышеуказанного оборудования, могут входить и другие машины и механизмы для обеспечения надежной и безопасной работы котельной. Наиболее часто встречаются котельные со слоевым сжиганием топливной щепы, произведенной из стволовой древесины, отходов лесозаготовок (сучья, ветки, пни, корни) и отходов лесопереработки. Типичная котельная для сжигания древесной щепы строится вокруг твердотопливного котла со ступенчатой или движущейся колосниковой решеткой. Котел имеет огнеупорную футеровку на стенах топки с целью обеспечения необходимой температуры сгорания для относительно влажного топлива.

В лесных регионах России, в небольших поселках, работают изношенные котельные на угле, мазуте. Вместе с тем в этих регионах

местные виды топлива гниют в лесу и на местах переработки древесины. Ниже мы будем рассматривать современное оборудование, которое используется в биокотельных и работает по технологии слоевого сжигания.

3.5.2. Оборудование для складирования и подачи топлива

Как показывает практика, большинство производственных проблем возникает при транспортировке щепы из хранилища к системе загрузки. В целом система транспортировки щепы из хранилища к котлу должна быть построена как цепь, в которой надежность функционирования отдельных звеньев является одинаково важной. Котельная остановится в случае появления любого «неисправного звена» в транспортной цепи [50].

Существуют различные варианты складирования и подачи щепы. Наиболее часто она хранится на топливном складе. Конструкция и размеры топливного склада должны соответствовать типу топлива, размеру котельной, условиям поставки топлива и времени работы котельной.

3.5.2.1. Оборудование топливного склада

Склады условно можно разделить на:

- основной (наружный);
- автоматизированный (внутренний) — для размещения суточного запаса топлива и автоматизации снабжения котла топливом.

Комбинация основного и автоматизированного складов с запасом щепы примерно на неделю работы котельной, в сочетании с небольшим складом, оборудованным автоматической подачей щепы, рассчитанным на 48 часов работы, — наиболее часто встречающееся техническое решение.

Основной склад строится на асфальтовой или бетонной площадке (рис. 3.3, а). С целью защиты от попадания пыли за пределы склада он обносится защитным ограждением, иногда с крышей. Такой вид склада является очень рентабельным, но надо учесть, что для подачи топлива с наружного склада на внутренний для бесперебойной работы котельной требуется трактор.



Рис. 3.3. Оборудование топливного склада, Финляндия:

а — открытый склад древесного топлива, б — автоматический склад котельной

Подача топлива с открытого склада на автоматизированный склад может осуществляться по-разному. Для этого могут быть использованы различные виды машин и механизмов. Существует множество транспортных средств, так что выбрать оптимальное решение нелегко. В практике для подачи топлива часто используют колесные погрузчики, краны и др.

Для подачи щепы с закрытого склада к механизму подачи топлива к котлу используют механизмы, снабженные донными гидравлическими штанговыми толкателями. Это решение является наилучшим и используется в большинстве случаев. Толкатели двигаются вперед или назад по полу склада в зависимости от положения гидравлического привода. Когда толкатель доходит до конечного положения, давление возрастает и переключает привод на обратное положение.

Как правило, автоматический склад соединен с основным складом и обслуживается тракторами или, в отдельных случаях, тельферами с манипуляторами. Если позволяет пространство, то можно разгружать щепу прямо в буферный склад. Высота загрузки топлива на автоматическом складе ограничена примерно 3 метрами и зависит от мощности гидравлической системы.

На рис. 3.3, б и рис. 3.4 показан внешний вид автоматических складов котельных на топливной щепе.



Рис. 3.4. Оборудование топливного склада, Финляндия: а — основной автоматический склад котельной с открывающейся крышей, б — основной автоматический склад топлива со штанговым толкателем «подвижной пол»

3.5.2.2. Оборудование для подачи топлива с автоматического склада

Для подачи топлива с автоматического склада используются шнековые и скребковые транспортеры, грейферные краны, но в последние годы предпочтение отдается скребковым, поскольку они более прочные и менее чувствительны к качеству топлива. К тому же можно изменить направление скребкового конвейера, что уменьшает количество необходимых приводов и трансмиссий.



Рис. 3.5. Оборудование топливного склада: а — скребковый транспортер и вал-разрыхлитель, б — гидроцилиндры привода скребков

Толкатель подает топливо на вал-разрыхлитель (рис. 3.5, а) (установлен в конце автоматического склада), служащий для выравнивания и особенно необходимый для разрыхления смерзшейся щепы. Вал также выполняет функцию управления загрузкой шнекового конвейера, выгружающего топливо со склада. Это происходит с помощью устройства, отключающего или запускающего штанговые толкатели (рис. 3.5, б).

Система конвейеров подает топливо в промежуточный бункер, расположенный над топкой или на фронте топки. Этот бункер выполняет три функции:

- обеспечивает равномерную подачу топлива на решетку толкателем;
- служит «воздушным замком», препятствующим обратному возгоранию;
- предотвращает присосы воздуха и обеспечивает возможность правильного процесса горения.

Топливный бункер снабжен в верхней части заслонкой, которая при прекращении подачи топлива закрывается.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Промежуточное пользование лесом на Северо-Западе России : учеб. пособие / В. А. Ананьев, А. Асикайнен, Э. Вяльккю, Ю. Ю. Герасимов, К. К. Демин, Л. Сиканен, В. С. Сюнёв и др. — Йоэнсуу : НИИ леса Финляндии, 2005. — 150 с.
2. Бурлаков А. С. Об определении конструктивно-технологических параметров механизма подачи дисковой рубительной машины / А. С. Бурлаков, С. В. Фокин // *Соврем. проблемы науки и образования*. — 2013. — № 5. — URL: www.scienceeducation.ru/111-10572.
3. Васильев С. Б. Техника и технология производства щепы в леспромхозе : монография / С. Б. Васильев, В. И. Пятакин, И. Р. Шегельман. — Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2001. — 100 с.
4. Виногоров Г. К. Лесосечные работы / Г. К. Виногоров. — Москва : Лес. пром-сть, 1981. — 272 с.
5. Вальщиков Н. М. Рубительные машины / Н. М. Вальщиков. — Москва : Машиностроение, 1970. — 328 с.
6. Вальщиков Н. М. Рубительные машины / Н. М. Вальщиков, Э. П. Лицман. — Москва : Лес. пром-сть, 1980. — 96 с.
7. Васильев С. Б. Техника и технология производства щепы в леспромхозе : монография / С. Б. Васильев, В. И. Пятакин, И. Р. Шегельман. — Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2001. — 100 с.
8. Васильев Ю. С. Развитие энергетического сектора и биоэнергетики на Северо-Западе России / Ю. С. Васильев, В. В. Елистратов, Г. И. Сидоренко // *Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики*. — 2008. — № 1—2. — С. 74—86.
9. Гороховский К. Ф. Машины и оборудование лесосечных и лесоскладских работ / К. Ф. Гороховский, Н. В. Лившиц — Москва : Экология, 1991. — 528 с.
10. Головков С. И. Энергетическое использование древесных отходов / С. И. Головков, И. Ф. Коперин, В. И. Найденов. — Москва : Лес. пром-сть, 1987. — 224 с.
11. Грачёв В. В. Перспективы развития биоэнергетики / В. В. Грачёв, Р. Б. Марков // *Эконом. и соц. перемены: факты, тенденции, прогноз*. — 2009. — № 4. — С. 49—60.

12. Герасимов Ю. Ю. Основные факторы планирования производства древесного топлива из древесной биомассы / Ю. Ю. Герасимов, А. А. Селивёрстов, Ю. В. Суханов, В. С. Сютёв // Учен. зап. Петрозав. гос. ун-та. Сер.: Естеств. и техн. науки. — 2011. — № 8. — С. 77—80.
13. ГОСТ 3243-88. Дрова. Технические условия. — Москва : Изд-во стандартов, 1989. — 6 с.
14. ГОСТ 54220-2010 (EN 14961-1:2010). Биотопливо твердое. Технические характеристики и классы топлива. Ч. 1. Общие требования. — Москва : Стандартиформ, 2010. — 42 с.
15. ГОСТ 3808.1-80. Пиломатериалы хвойных пород. Атмосферная сушка и хранение. — Москва : Стандартиформ, 2009. — 11 с.
16. Жидков А. В. Древесная кора и ее свойства / А. В. Жидков // Бум. пром-сть. — 1958. — № 2. — С. 15—18.
17. Захаренко Г. П. Комплексное использование древесины : учеб. пособие / Г. П. Захаренко. — Йошкар-Ола : Марийский гос. техн. ун-т, 2006. — 104 с.
18. Каръялайнен Т. Поставки древесного топлива в Финляндии / Т. Каръялайнен, Ю. Герасимов // Интерлес Карелия : материалы семинара «Лесная энергия». — Петрозаводск, 2011. — 32 с.
19. Кочегаров В. Г. Технология и машины лесосечных работ / В. Г. Кочегаров, Ю. А. Бит, В. Н. Меньшиков. — Москва : Лес. пром-сть, 1990. — 392 с.
20. Коробов В. В. Переработка низкокачественного древесного сырья (проблемы безотходной технологии) / В. В. Коробов, Н. П. Рушнов. — Москва : Экология, 1991. — 228 с.
21. Использование отходов лесозаготовок / Л. И. Качелкин, Н. П. Рушнов, В. В. Коробов, Г. М. Михайлов, В. М. Черезова. — Москва : Лес. пром-сть, 1965. — 324 с.
22. Карпачев С. П. Некоторые вопросы технологии освоения и водного транспорта биоресурсов из леса для биоэнергетики / С. П. Карпачев // Учен. зап. Рос. гос. соц. ун-та. — 2009. — № 5. — С. 130—138.
23. Лесная биоэнергетика : учеб. пособие / под ред. Ю. П. Семёнова. — 2-е изд. — Москва : ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. — 348 с.
24. Леонтьев Н. Л. О влажности и объемном весе древесной коры / Н. Л. Леонтьев // Тр. ЦНИИМЭ. — 1967. — Вып. 84. — С. 125—134.
25. Лесная биоэнергетика : учеб. пособие / под ред. Ю. П. Семёнова. — Москва : ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. — 348 с. : ил.
26. Лесная энциклопедия : в 2 т. / гл. ред. Г. И. Воробьев ; ред. кол.: Н. А. Анучин, В. Г. Атрохин, В. Н. Виноградов и др. — Москва : Сов. энцикл., 1985. — 563 с. : ил.
27. Методические указания по определению объемов древесных отходов. — Москва : ВНИПИЭИлеспром, 1988. — 40 с.
28. Никишов В. Д. Комплексное использование древесины / В. Д. Никишов. — Москва : Лес. пром-сть, 1985. — 264 с.

29. *Никитин В. М.* Химия древесины и целлюлозы / В. М. Никитин. — Москва ; Ленинград : Гослесбумиздат, 1960. — 468 с.
30. Нормативы образования и ресурсы древесных отходов. — Москва : ВНИПИЭИлеспром, 1986. — 16 с.
31. Отраслевая методика определения объемов вторичных материальных ресурсов в лесной и деревообрабатывающей промышленности. — Москва : ВНИПИЭИлеспром, 1978. — 66 с.
32. Технология и машины лесосечных работ : учеб. для вузов / В. И. Пятакин, И. В. Григорьев, В. А. Иванов, А. К. Редькин, Ф. В. Пошарников, И. Р. Шегельман, Ю. А. Ширнин и др. — Санкт-Петербург : СПбГЛУ, 2012. — 362 с.
33. Технология и оборудование лесопромышленных производств : учебник. Ч. 1 : Технология и оборудование лесосечных работ / В. И. Пятакин, И. В. Григорьев, В. А. Иванов, А. К. Редькин, Ф. В. Пошарников, И. Р. Шегельман, Ю. А. Ширнин и др. — Санкт-Петербург : СПбГЛТА, 2009. — 362 с.
34. *Передерий С.* Щепа как твердое биотопливо в Европе / С. Передерий // ЛесПромИнформ. — 2010. — № 5. — С. 132—135.
35. *Померанский А. И.* Определение теплотворной способности отходов лесосечной древесины / А. И. Померанский // Изв. ЛТА им. С. М. Кирова. — 1933. — С. 16—19.
36. Правила устройства и безопасности эксплуатации паровых и водогрейных котлов. ПБ 10-574-03 [Электронный ресурс]. — Санкт-Петербург : Изд-во ДЕАН, 2004. — URL: <http://www.docload.ru/Basesdoc/11/11728/index.htm>.
37. Проект № ВУЕ/03/G31. Использование энергии биомассы для отопления и горячего водоснабжения в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : брошюра «Энергия древесины». — 1-я ред., 23 дек. 2004 г. — URL: www.btgworld.com.
38. Проект № ВУЕ/03/G31. Применение энергии биомассы для отопления и горячего водоснабжения в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : метод. рекомендации по применению передовой практики. Часть А : Сжигание биомассы. — URL: http://esco-ecosys.narod.ru/2006_2/art92.htm.
39. *Уголев Б. Н.* Древесиноведение с основами лесного товароведения / Б. Н. Уголев. — Москва : Экология, 1991. — 256 с.
40. *Ууситало Й.* Основы лесной технологии / Й. Ууситало. — Йоэнсуу : Feg Ltd, 2004. — 228 с.
41. *Рушнов Н. П.* Рубительные машины / Н. П. Рушнов, Э. П. Лицман, Е. А. Пряхин. — Москва : Лес. пром-сть, 1985. — 207 с.
42. *Рубцов Ю. В.* Технология переработки низкокачественной древесины на щепу рубительными машинами в США и России / Ю. В. Рубцов, Г. В. Коннова, С. В. Рудько // Учен. зап. Комсомольского-на-Амуре гос. техн. ун-та. — 2011. — Т. 1. — № 8. — С. 108—114.

43. Сюнёв В. С. Рабочие органы харвестеров : проектирование и расчет : учеб. пособие / В. С. Сюнёв, А. А. Селивёрстов. — Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2005. — 204 с.
44. Сюнёв В. С. Захватно-срезающие устройства валочно-трелевочных машин : проектирование и расчет : учеб. пособие / В. С. Сюнёв. — Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2008. — 143 с.
45. Лесосечные машины в фокусе биоэнергетики : конструкции, проектирование, расчет : учеб. пособие / В. С. Сюнёв, А. А. Селивёрстов, Ю. Ю. Герасимов, А. П. Соколов. — Йоэнсуу : НИИ леса Финляндии METLA, 2011. — 143 с.
46. Оценка эффективности производства топливной щепы на лесном терминале / А. А. Селивёрстов, Ю. Ю. Герасимов, Ю. В. Суханов, В. С. Сюнёв, В. К. Катаров // Тракторы и сельхозмашины. — 2012. — № 8. — С. 25—27.
47. Системы машин для производства топливной щепы из древесной биомассы по технологии заготовки деревьями / Ю. В. Суханов, Ю. Ю. Герасимов, А. А. Селивёрстов, В. С. Сюнёв // Тракторы и сельхозмашины. — 2012. — № 1. — С. 7—13.
48. Технологические цепочки и системы машин для сбора и переработки древесной биомассы в топливную щепу при сплошнолесосечной заготовке в сортиментах / Ю. В. Суханов, Ю. Ю. Герасимов, А. А. Селивёрстов, А. П. Соколов // Системы. Методы. Технологии. — 2011. — № 4. — 8 с.
49. Сергеев А. В. Справочное учебное пособие для персонала котельных : Тепломеханическое оборудование котельных / А. В. Сергеев. — Санкт-Петербург : Изд-во ДЕАН, 2005. — 256 с., ил.
50. Справочник потребителя биотоплива / под ред. Виллу Вареса. — Таллинн, 2005. — 183 с.
51. Справочник по лесопилению. — Москва : Лес. пром-сть, 1980. — 424 с.
52. Томчук Р. И. Комплексное использование лесосечных отходов / Р. И. Томчук, С. И. Каравашкин. — Москва : ЦНИИТЭИлеспром, 1968. — 92 с.
53. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. — Москва; Ленинград : Госэнергоиздат, 1973. — 296 с.
54. Биотопливо из древесного сырья / А. С. Федоренчик, А. В. Ледницкий, Н. И. Кожухов, В. Д. Никишов. — Москва : ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. — 384 с.
55. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: «Научное исследование и оценка потенциала повышения энергоэффективности и энергосбережения в субъектах Российской Федерации за счет интенсивности ведения лесного хозяйства и использования древесной биомассы» / С.-Петерб. науч.-исслед. ин-т лес. хоз-ва; рук. проекта канд. с.-х. наук В. С. Холодков. — Санкт-Петербург, 2010.
56. Древесина для производства энергии. Технология — окружающая среда — экономика / Дат. ин-т леса и ландшафтов; Хелле Серуп и др. — 2-е изд. — Нерсхолм, 1999.

57. Шегельман И. Р. Лесные трансформации (XV—XXI вв.) / И. Р. Шегельман. — Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2008. — 240 с.
58. Шегельман И. Р. Лесосечные работы с применением валочно-пакетирующих, валочно-трелевочных и бесчokerных машин : учеб. пособие / И. Р. Шегельман, В. И. Скрыпник, О. Н. Галактионов. — Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2013. — 272 с.
59. Вывозка леса автопоездами. Техника. Технология. Организация / И. Р. Шегельман, В. И. Скрыпник, А. В. Кузнецов, А. В. Пладов. — Санкт-Петербург : Изд-во ПРОФИКС, 2008. — 304 с.
60. Шегельман И. Р. Эффективное использование лесных ресурсов : учеб. пособие / И. Р. Шегельман, А. В. Кузнецов. — Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2008. — 88 с.
61. Биотопливо: Состояние и перспективы использования в теплоэнергетике Республики Карелия / И. Р. Шегельман, К. В. Полежаев, Л. В. Щеголева, П. О. Шукин. — Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2006. — 88 с.
62. Шегельман И. Р. Анализ технологической цепочки производства топливной щепы, с учетом транспортно-переместительной составляющей / И. Р. Шегельман, В. И. Скрыпник, А. В. Кузнецов // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. — Санкт-Петербург : СПбГЛТА, 2013. — Вып. 203. — С. 67—75.
63. Подготовка и переработка древесного сырья для получения щепы энергетического назначения (биотоплива) / И. Р. Шегельман, А. В. Кузнецов, В. Н. Баклагин, П. В. Будник, В. И. Скрыпник // Учен. зап. ПетрГУ. Сер.: Естеств. и техн. науки. — 2010. — № 8. — С. 79—82.
64. Шегельман И. Р. Лесная промышленность и лесное хозяйство : словарь / авт.-сост. И. Р. Шегельман. — 5-е изд., перераб. и доп. — Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2011. — 328 с.
65. Шегельман И. Р. Технология и техника расчистки лесных площадей с подготовкой пнево-корневой древесины для биоэнергетики / И. Р. Шегельман // Инж. вестн. Дона. — 2012. — Т. 20. — № 2. — С. 475—478.
66. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года : утв. распоряжением Правительства РФ от 13 нояб. 2009 г. № 1715-р // Собр. законодательства РФ. — 30.11.2009. — № 48. — Ст. 5836.
67. Albach Silvator 2000 = Albach Maschinenbau GmbH & Co [Электронный ресурс] : проспект. — URL: <http://www.albach-maschinenbau.de/wp-content/uploads/Albach-Prospekt-Vers.3.0.pdf>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. нем.
68. Gerasimov Y. Energy wood resources availability and delivery cost in Northwest Russia / Y. Gerasimov, T. Karjalainen // Scandinavian Journal of Forest Research. — 2013. — № 28(7). — P. 689—700.
69. Gerasimov Y. Nordic forest energy solutions in the Republic of Karelia / Y. Gerasimov, S. Senko, T. Karjalainen // Forests. — 2013. — № 4. — P. 945—967.
70. Gerasimov Y. Y. Optimization of industrial and fuel wood supply chain associated with cut-to-length harvesting / Y. Y. Gerasimov, A. P. Sokolov, V. S. Syunev // Systems. Methods. Technologies. — 2011. — № 3. — P. 118—124.

71. *Gerasimov Y.* Energy wood resources in Northwest Russia / Y. Gerasimov, T. Karjalainen // *Biomass and Bioenergy*. — 2011. — № 35. — P. 1655—1662.
72. Potential for biofuel development in Tihvin and Boksitogorsk districts of the Leningrad region — the analysis of energy wood supply systems and costs / V. Goltsev, J. Ilavsky, Y. Gerasimov, T. Karjalainen // *Forest Policy and Economy*. — 2010. — № 12(4). — P. 308—316.
73. Harvesting alternatives and cost factors of delimbed energy wood / J. Heikkilä, J. V. Tantt, J. Lindblad, M. Sirén, A. Asikainen // *Metsanduslikud Laitila, Uurimused — Forestry Studies*. — 2006. — № 45. — P. 49—56.
74. *Kärhä K.* Production and Use of Wood Chips : Improving Supply Chains / K. Kärhä // *Wood Energy UNECE/FAO Workshop*. — Belgrade (Serbia), 2007. — 68 p.
75. Assessment of Energy Wood Resources in the Leningrad Region / T. Karjalainen, Y. Gerasimov, V. Goltsev, J. Ilavský, T. Tahvanainen // *Developing Bioenergy Markets — Focus on Forest Sector and Russia*. — Lappeenranta, 2006. — 20 p.
76. *Karjalainen T.* Energy wood resources in Northwest Russia and international trade of wood fuels / T. Karjalainen, Y. Gerasimov, V. Kholodkov // *FINBIO julkaisusarja — FINBIO Publications*. — 2010. — № 47. — P. 69—76.
77. *Laitila J.* Productivity of stump harvesting for fuel / J. Laitila, T. Ranta, A. Asikainen // *International Journal of Forest Engineering*. — 2008. — № 19(2). — P. 37—46.
78. Forest energy procurement — state of the art in Finland and Sweden / J. Routa, A. Asikainen, R. Björheden, J. Laitila, D. Röser // *WIREs Energy and Environment*. — 2013. — № 2(6). — P. 602—613.
79. Natural drying treatments during seasonal storage of wood for bioenergy in different European locations / D. Röser, B. Mola-Yudego, L. Sikanen, R. Prinz, D. Gritten, B. Emer, K. Väätäinen, A. Erkkilä // *Biomass & Bioenergy*. — 2011. — № 35(10). — P. 4238—4247.
80. *Sikanen L.* Transport control of forest fuels by fleet manager, mobile terminals and GPS / L. Sikanen, A. Asikainen, M. Lehtikainen // *Biomass & Bioenergy*. — 2004. — № 28(2). — P. 183—191.
81. *Suhanov Yu. V.* Efficiency of Forest Chip Supply Systems in Northwest Russia [Electronic resource] / Yu. V. Suhanov, A. A. Seliverstov, Yu. Yu. Gerasimov // *Advanced materials research*. — 2013. — Vol. 740. — P. 799—804. — URL: www.scientific.net/AMR.740.799.
82. *Väätäinen K.* Wood fuel procurement methods and logistics in Finland / K. Väätäinen // *Wood fuel production for small scale use*. Eberswalde : University Eberswalde, 2007. — 28 p.
83. Business process mapping and discrete-event simulation of two forest biomass supply chains / J. Windisch, D. Röser, B. Mola-Yudego, L. Sikanen, A. Asikainen // *Biomass & Bioenergy*. — 2013. — № 56. — P. 370—381.
84. Supply chain management application for forest fuel procurement — cost or benefit? / J. Windisch, L. Sikanen, D. Röser, D. Gritten // *Silva Fennica*. — 2010. — № 44(5). — P. 845—858.

85. *Kesla Oyj*. Harvesterheads [Электронный ресурс] : проспект. — URL: http://www.kesla.fi/en/c/document_library/get_file?uuid=49b7f0e2-3b7d-407c-8044-bef802b6e3b2&groupId=10304, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. англ.
86. AFM-Forest Ltd. Головки AFM для заготовки энергетической древесины [Электронный ресурс] : Валочная головка AFM 220 для энергетической древесины. — URL: <http://www.afm-forest.ru/produkcija/energeticheskie-golovki/afm220>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус.
87. ООО «ЛЕСТЕХКОМ» [Электронный ресурс] : ЗСУ с пильной шиной. — URL: <http://lestechcom.ru/zsu-s-pilnoj-shinoj.html>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус.
88. Komptech Group [Электронный ресурс] : CHIPPO 510 C. — URL: <http://www.komptech.com/en/products/shredding/wood-chipper/chippo-510-c.htm>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. англ.
89. *Kesla Oyj*. Wood chippers. C645 [Электронный ресурс] : проспект. — URL: <http://www.kesla.fi/documents/10304/ac3f4292-cb4f-4cb3-bb25-5de731fb260c>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус.
90. Bruks [Электронный ресурс] : Mobile Chipper 806 PTC Truck. — URL: <http://www.bruksmobile.com/index.php/products-by-name/mobile-chipper-806-ptc-truck>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. англ.
91. Komptech Group. [Электронный ресурс] : CHIPPO 5010 Cd/Cdt. — URL: <http://www.komptech.com/en/products/shredding/wood-chipper/chippo-5010-cdcdt.htm>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. англ.
92. ОАО «АМКОДОР» [Электронный ресурс] : Форвардер АМКОДОР 2661-01. — URL: http://amkodor.by/catalog/mashiny_lesopromyshlennogo_komple/forvarder_amkodor_2661, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус.
93. Bruks [Электронный ресурс] : Mobile Chipper 806 STC. — URL: <http://www.bruksmobile.com/index.php/products-by-name/mobile-chipper-806-stc>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. англ.
94. Silvatec Skovmaskiner A/S [Электронный ресурс] : Чиппер Grane 8325 CH. — URL: <http://www.silvatec.com/ru/produkcija-i-uslugi/grane-ch-chipperu/>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус.
95. Albach Silvator 2000 = Albach Maschinenbau GmbH & Co. [Электронный ресурс] : проспект. — URL: <http://www.albach-maschinenbau.de/wp-content/uploads/Albach-Prospekt-Vers.3.0.pdf>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. нем.
96. Nye Manufacturing Ltd [Электронный ресурс] : Stump Harvesters/Splitters — URL: <http://www.nyemanufacturing.com/pdf/XSH5-20130108.pdf>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. англ.
97. «A. Hirvonen Oy» [Электронный ресурс] : Корчеватель пней. — URL: <http://www.xn--vkev-load.fi/binary/file/-/fid/338>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус.
98. Ramtec Oy [Электронный ресурс] : Xteho — The single grip stump harvester — URL: <http://www.ramtec.fi/en/products/xteho/>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. англ.

99. ООО «Челябинский тракторный завод — УРАЛТРАК». [Электронный ресурс] : Трактор Б10М с корчевателем. — URL: <http://chtz-uraltrac.ru/catalog/items/201.php>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус.
100. Ponsse Plc. [Электронный ресурс] : PONSSE BUFFALO. — URL: <http://www.ponsse.com/ru/produksiya/forvardery/buffalo>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус.
101. TimberPro, Inc. [Электронный ресурс] : TF 810B / TF 830B / TF 840B. — URL: <http://timberpro.com/Modules/830%20brochure/830%20RU.pdf>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус.
102. MetsäVerkko [Электронный ресурс] : HavuHukka tiellä. — URL: http://virtuooi.pkky.fi/metsaverkko/Energiapuun/Energiapuun_korjuu/hankinta/index.htm, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. фин.
103. John Deere 1490 D [Электронный ресурс] : — URL: <http://www.intrac.lv/userfiles/file/1490Dbrosura.pdf>.
104. Komatsu Forest [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.komatsuforest.com/default.aspx?id=1848&newsid=5027>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. англ.
105. Инструкция по эксплуатации JAPA 375 BASIC, EXPERT, PRO. Привод TR, E, TRE [Электронный ресурс]. — URL: http://www.japa.fi/ru/images/stories/kuvat/tuotekuvat/japa375/japa_375_ru.pdf, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус.
106. Ассортимент машин для колки дров PALAX [Электронный ресурс] : проспект. — URL: http://www.palax.fi/ru/images/stories/file/power100_rus.pdf, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус.
107. CEN/TS 14961 «Твердое биотопливо. Спецификация и классы». — [Б. м.], 2010. — 58 с.
108. Моторизованный инструмент [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.derev-grad.ru/mehanizaciya-i-avtomatizaciya/motorizovannyy-instrument.html>.
109. Форумы лесной отрасли [Электронный ресурс]. — URL: <http://forums.wood.ru/showthread.php?threadid=175519>.
110. ПрофБрусДом [Электронный ресурс]. — URL: www.profbrusdom.ru.
111. Плакиткина Л. С. Добыча торфа в России и мире: Анализ развития торфяной промышленности в России и мире в период с 2000 по 2009 годы [Электронный ресурс] / Л. С. Плакиткина, П. А. Апухтин. — URL: <http://www.mining-media.ru/ru/article/ekonomich/159-dobycha-torfa-v-rossii-i-mire-analiz-razvitiya-torfyanoj-promyshlennosti-v-rossii-i-mire-v-period-s-2000-po-2009-gody>.
112. MediaLeaks [Электронный ресурс]. — URL: www.MediaLeaks.ru.
113. Perzl Maschinenbau [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.youtube.com/watch?v=XzcOY0HqwSA>.
114. «Горыныч» [Электронный ресурс]. — URL: <http://drev-ugol.su/technologies/forest>.

-
115. Käyttäjän CrocoFinland kanava [Электронный ресурс]. — URL: http://www.youtube.com/watch?v=bnDhqEcF_RQ.
 116. Käyttäjän CrocoFinland kanava [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.youtube.com/watch?v=JzpsMXZLnKc>.
 117. Kahl [Электронный ресурс]. — URL: http://www.akahl.de/akahl/ru/ru_produkte/ru_biomasse_pelletierung/.

Учебное издание

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ:
ЗАГОТОВКА, ТРАНСПОРТИРОВКА,
ПЕРЕРАБОТКА И СЖИГАНИЕ**

*Учебное пособие для студентов
высших учебных заведений,
обучающихся по направлениям подготовки
«Лесное дело», «Технологические машины и оборудование»
и «Технология лесозаготовительных
и деревоперерабатывающих производств»*

Авторы-составители:

Сюнёв Владимир Сергеевич
Питухин Александр Васильевич
Васильев Сергей Борисович
Галактионов Олег Николаевич
Кузнецов Алексей Владимирович
Селиверстов Александр Анатольевич
Суханов Юрий Владимирович
Холодков Владимир Сергеевич

Редактор *Т. Н. Музалева*
Художественный редактор *Е. В. Бобкова*

Подписано в печать 26.11.2014. Формат 70×100 1/16.
Бумага офсетная. 7,5 уч.-изд. л. Тираж 200 экз. Изд. № 307

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Отпечатано в типографии Издательства ПетрГУ
185910, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

ISBN: 978-5-8021-2233-4



9 785802 122334