

ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО
БАЗОВЫЙ ПАКЕТ ИНФОРМАЦИИ

BENET
BIOENERGY NETWORK

ENERGI
DALEN

JYVASKILAN AMMATTIKORKEAKOULU
JYVASKILA POLYTECHNIC

Иваскила 2000

ISBN 952-5165-19-1

Gummerus Kirjapaino Oy
Saarijärvi 2000

ПРЕДИСЛОВИЕ

Издание настоящего учебного пособия является основным итогом проекта "Древесное топливо – базовый пакет информации (БПИ)", который был реализован в рамках программы АЛТЕНЕР II по предложению Сети биоэнергетики VENET компании Йивяскила Сайэнс Парк Лтд. (Jyvaskila Science Park Ltd.), Финляндия, которая также осуществляла координацию реализации проекта. По материалам пособия подготовлены слайды и разработаны интернет-страницы. БПИ также включает интенсивный двухдневный учебный курс.

Указанный проект был реализован совместно с компанией Энергидален и Соллефтеа АВ (Energidalen I Solletea AB), Швеция. Финансирование проекта осуществлялось в рамках программы ЕС АЛТЕНЕР при поддержке Департамента энергетики Министерства торговли и промышленности Финляндии, Национального совета по вопросам образования Финляндии, компании Энергидален и Соллефтеа АВ, Швеция, и Национального управления энергетики Швеции. Целью настоящего учебного пособия является обобщение информации о различных аспектах производства и использования древесного топлива, которая предназначена для ряда заинтересованных групп, в основном из европейских стран. Основная часть материалов пособия подготовлена с использованием данных финско-шведской технологии, основанной на производственной цепочке "от пня до котла".

Варпу Саволайнен, сотрудница Политехнической школы природных ресурсов г. Йивяскила, Финляндия, являлась руководителем проекта, основным автором и главным редактором пособия. Она подготовила основную часть глав 1-5, 9 и 12. Части глав 6-8, относящиеся к выработке тепла и электроэнергии, а также часть главы 10, относящаяся к вопросам предпринимательства, и часть главы 9, в которой описывается процесс утилизации золы биотоплива, написаны Хэканом Берггреном, соавтором пособия, представителем компании Энергидален и Соллефтеа АВ. Хэкан Берггрен также описал технологии производства гранулированной древесины и древесных брикетов (глава 5). Ряд материалов, содержащихся в основном в главе 7, подготовлен Юха Люканеном, сотрудником Центрального энергетического агентства Финляндии (созданного в рамках Программы содействия энергетической эффективности ЕС (SAVE). Эйя Алакангас, сотрудница Финского национального центра технологических исследований VTT Энержи (VTT Energy), является автором значительного числа материалов, содержащихся в основном в главах 1 (о роли биоэнергии в Европе), 2 (свойства древесины) и 4 (руководства по контролю качества и стандарты качества различных стран). Тапани Сауранен, сотрудник Центра лесного хозяйства Центральной Финляндии, является автором большей части материалов, относящихся к описанию производственной цепочки по обработке лесосечных отходов. Торд Фьеллстрем и Ларс-Эрик Персон, сотрудники компании Энергидален и Соллефтеа АВ, являются авторами главы 11, содержащей описание прогнозов и сценариев развития.

Пирьо Хелке (Йивяскила, Финляндия) является автором большинства выполненных на высоком уровне иллюстраций пособия. Ряд иллюстраций выполнен Эйя Алакангас, сотрудницей Финского национального центра технологических исследований VTT Энержи, и Микко Ахоненом и Юха Лийканеном, сотрудниками Центрального энергетического агентства Финляндии (программа SAVE II). Редакторами английского текста являются Сату Сандберг (Йивяскила, Финляндия) и Том Дженкинс (Университет Уэльса).

Авторы выражают благодарность вышеуказанным лицам, а также Марку Паананену, сотруднику Сети VENET компании Йивяскила Сайэнс Парк Лтд., который представил комментарии к тексту пособия и оказал помощь в практической реализации проекта, а также всем лицам и организациям, предоставившим нам возможность использовать принадлежащие им фотографии, включенные в материалы БПИ, или каким-либо другим образом внесшим вклад в реализацию проекта.

Мы надеемся, что материалы БПИ окажутся полезным источником информации о возможностях применения древесных материалов – "зеленого возобновляемого золота" – в производстве энергии.

Йивяскила (Финляндия), Соллефтеа (Швеция); март, 2000 г.

Варпу Саволайнен, Хэкан Берггрен

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ	10
1.1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЦЕЛИ	10
1.1.1 Общие положения	10
1.1.2 Цели проекта "Древесное топливо — базовый пакет информации"	11
1.1.3 Ограничения и связи с другими проектами	11
1.2 БЕЛАЯ КНИГА	12
1.2.1 Общие положения	12
1.2.2 Возобновляемые источники энергии в Европе	12
1.3 ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	17
1.4 ИСКОПАЕМОЕ ТОПЛИВО И ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО — ОСНОВНЫЕ РАЗЛИЧИЯ	17
1.4.1 Парниковый эффект	18
1.4.1.1 Как это происходит?	18
1.4.1.2 Последствия изменения климата	20
1.4.1.3 Борьба с изменением климата	21
1.4.2 Окисление	23
1.4.3 Детоксикация	23
1.4.4 Занятость и экономика	23
1.4.5 Наличие ресурсов	25
1.5 РОЛЬ БИОЭНЕРГИИ В ЕВРОПЕ	25
1.5.1 Использование биоэнергии в Европе	25
1.5.2 Потенциал ресурсов и использование древесного топлива в Европе	29
1.5.2.1 Лесные ресурсы в Европе	29
1.5.2.2 Роль энергии из древесины в Европе	32
1.5.2.3 Производство в лесной промышленности Европы	32
2. ТОПЛИВНЫЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ	35
2.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	35
2.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВЕСИНЫ	36
2.2.1 Технический анализ	36
2.2.2 Элементарный анализ	37
2.2.3 Теплотворная способность (кДж/кг)	37
2.2.4 Состав золы (вес.% золы)	38
2.2.5 Анализ биомассы (мг/кг сухого материала)	38
2.2.6 Биохимический состав (вес.%)	38
2.3 СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА	38
3. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА	44
3.1 ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО В ЛЕСУ	44
3.1.1 Общие положения	44
3.1.2 Лесосечные отходы	45
3.1.3 Древесное топливо, получаемое при прореживании молодняка и уходе за ним	48
3.2. ПРОИЗВОДСТВО БИОМАССЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЛЕСАХ	49
3.2.1 Ивовая биомасса	49
3.2.2 Производство биомассы из некоторых других видов деревьев с коротким оборотом рубки	52
3.3 ПОБОЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	53

3.3.1	Предприятия механической обработки древесины	53
3.3.2	Производство целлюлозы и бумаги	54
3.4	УТИЛИЗИРУЕМОЕ ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО	54
3.5	ТОРГОВЛЯ ДРЕВЕСНЫМ ТОПЛИВОМ	57
4.	ВИДЫ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА	58
4.1	ТОПЛИВНАЯ ДРЕВЕСИНА	58
4.1.1	Общие положения	58
4.1.2	Классы качества	58
4.1.3	Измерение количества колотой древесины	60
4.1.4	Теплота сгорания (теплотворная способность)	61
4.1.5	Образец контракта на поставку колотой дровяной древесины	61
4.2	ЩЕПА	62
4.2.1	Общее описание	62
4.2.2	Щепа из лесосечных отходов	62
4.2.3	Щепа из бревен (щепа из долготья)	63
4.3	ПОБОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ	64
4.4	ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ТВЕРДОГО НЕОБЛАГОРОЖЕННОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА	65
4.5	МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА И КЛАССИФИКАЦИЯ ТВЕРДОГО НЕОБЛАГОРОЖЕННОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА	66
4.5.1	Общие положения	66
4.5.2	Финские системы классификации качества твердого необлагороженного древесного топлива	66
4.5.3	Австрийские стандарты по древесной щепе и коре	67
4.5.4	Датская система классификации древесной щепы	68
4.5.5	Шведская система классификации древесной щепы	68
4.5.6	Классификация древесной щепы в Великобритании	68
4.6	ОБЛАГОРОЖЕННОЕ ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО	69
4.6.1	Гранулы	69
4.6.1.1	Что представляют собой древесные гранулы?	69
4.6.1.2	Применение гранулированной древесины в различных странах мира	70
4.6.2	Брикеты	71
4.7	МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ КАЧЕСТВА И СИСТЕМА КЛАССИФИКАЦИИ КАЧЕСТВА	71
4.7.1	Классификация топливных гранул и брикетов, принятая в Швеции	71
4.7.2	Классификация облагороженного древесного топлива, принятая в Австрии	73
4.7.3	Классификация облагороженного древесного топлива, принятая в Германии	73
5.	МЕТОДЫ ЗАГОТОВКИ И ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА	74
5.1	МЕТОДЫ ПОСТАВОК ЛЕСНОЙ ДРЕВЕСИНЫ В СЕВЕРОЕВРОПЕЙСКИХ СТРАНАХ	74
5.1.1	Общие положения	74
5.1.2	Лесозаготовительные операции	75
5.1.3	Характеристики североевропейской системы лесозаготовки с применением метода заготовки хлыстов	76

5.1.4 Краткий обзор типичных методов лесозаготовки, применяемых в североевропейских странах	77
5.2 ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРЕДПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОРЕЖИВАНИЙ И ПЕРВЫХ РУБОК УХОДА	77
Общие положения	77
5.2.1 Самостоятельная заготовка топливной древесины владельцами лесных участков	79
5.2.1.1 Ручные валка и штабелевка маломерных деревьев	79
5.2.1.2 Заготовка тонкомерных деревьев с использованием сельскохозяйственных тракторов	80
5.2.1.3 Трелевка (транспортировка) долготья и целых деревьев на лесосеке с помощью сельскохозяйственного трактора	82
5.2.1.4 Сравнение производственных издержек в различных производственных цепочках, используемых при самостоятельном производстве лесозаготовительных работ	82
5.2.2 Производство щепы	83
5.2.2.1 Принципы действия рубительных машин	83
5.2.2.2 Рубительные машины малой мощности	84
5.2.2.3 Рубительная машина с бункером	84
5.2.2.4 Возможности кооперации	85
5.2.3 Производство дровяной древесины	85
5.2.3.1 Применение топора для раскалывания дровяной древесины	85
5.2.3.2 Оборудование для раскалывания древесины	86
5.2.3.3 Промышленное производство колотой дровяной древесины	86
5.3 КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ЗАГОТОВКИ ТОНКОМЕРНОЙ ТОПЛИВНОЙ ДРЕВЕСИНЫ В ПРОМЫШЛЕННЫХ МАСШТАБАХ	88
5.3.1 Методы цепной обрезки сучьев-окорки	88
5.3.2 Метод Массахаке (Massahake-method)	89
5.4 МЕТОДЫ ЗАГОТОВКИ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ ПРИ РУБКАХ ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ	89
5.4.1 Методы рубки, обеспечивающие эффективную заготовку лесосечных отходов	90
5.4.2 Трелевка (транспортировка) лесосечных отходов в лесу	91
5.4.3 Складирование лесосечных отходов у лесовозной дороги	92
5.4.4 Производство щепы на лесном складе у магистральной лесовозной дороги	94
5.4.4.1 Переработка лесосечных отходов в щепу и измельчение лесосечных отходов на верхнем складе	94
5.4.4.2 Транспортировка на дальние расстояния	95
5.4.4.3 Щеповоз с рубительной машиной	95
5.4.4.4 Издержки производства щепы на верхнем складе	96
5.4.5 Издержки производства щепы в условиях лесосеки	96
5.4.5.1 Производство щепы из лесосечных отходов в условиях лесосеки	97
5.4.5.2 Транспортировка щепы на дальние расстояния	97
5.4.5.3 Издержки производства щепы у потребителя	98
5.4.6 Производственная цепочка по производству щепы на объекте конечного пользования	98
5.4.6.1 Насыпные лесосечные отходы	99
5.4.6.2 Издержки переработки на щепу лесосечных отходов у потребителя	100

5.4.6.3	Пакетированные лесосечные отходы	100
5.4.6.4	Издержки переработки на щепу кусковых лесосечных отходов у потребителя	101
5.5	ПОБОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ	102
5.6	ОБЛАГОРОЖЕННЫЕ ВИДЫ ТОПЛИВА	102
5.6.1	Технология производства древесных гранул	102
5.6.2	Технология производства древесных брикетов	104
6.	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛА, МЕТОДЫ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ	106
6.1	ТЕОРИЯ ГОРЕНИЯ	106
6.1.1	Состав топлива	106
6.1.2	Процесс горения	106
6.1.3	Участие воздуха в процессе горения	106
6.1.4	Этапы сжигания топлива	107
6.1.5	Важные параметры	108
6.1.6	Полное и неполное сгорание	108
6.1.7	Эффективное сгорание	108
6.2	ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ И МУНИЦИПАЛЬНОЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ	109
6.2.1	Конструкция котельной установки на твердом топливе	110
6.2.2.	Котлы и оборудование для сжигания топлива	110
6.2.2.1	Топки котлов с колосниковыми решетками	110
6.2.3	Псевдооживленный слой	112
6.2.3.1	Контроль параметров псевдооживленного слоя	113
6.2.3.2	Псевдооживленный слой обычного типа	114
6.2.3.3	Циркулирующий псевдооживленный слой	114
6.2.3.4	Сжигание топлива в нескольких псевдооживленных слоях	114
6.2.4	Очистка отходящих газов	114
6.2.4.1	Механические пылесборники	115
6.2.4.2	Скруббер	115
6.2.4.3	Электростатический пылеулавливатель	115
6.2.4.4	Фильтры сепарации под давлением	115
6.2.5	Очистка от SO _x и NO _x	116
6.2.5.1	SO _x	116
6.2.5.2	NO _x	116
6.3	ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ДОМОВ МАЛОЙ ПЛОЩАДИ	116
6.3.1	Котлы на древесном топливе	117
6.3.1.1	Современные и устаревшие котлы	117
6.3.1.2	Принципы сжигания топлива	118
6.3.1.3	Накопительный резервуар	119
6.3.2	Оборудование для сжигания гранулированной древесины	119
6.3.2.1	Топки для сжигания гранулированной древесины	120
6.3.2.2	Котлы на гранулированной древесине	121
6.3.2.3	Печи на гранулированной древесине	122
6.3.2.4	Сжигание древесных гранул на неподвижной колосниковой решетке	123
7.	ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭНЕРГИИ, МЕТОДЫ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ	124
7.1	ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	124
7.1.1	Паровая турбина и паровой двигатель	124
7.1.2.	Генератор	126
7.1.3	Резервуар питательной воды	126
7.1.4	Насос питательной воды	126

7.1.5 Экономайзер	126
7.1.6 Предварительный воздухоподогреватель	126
7.2 КОГЕНЕРАЦИЯ (КОМБИНИРОВАННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ)	127
7.3 ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ, ВЫРАБАТЫВАЕМАЯ ПО КОНДЕНСАЦИОННОМУ ЦИКЛУ	129
7.4 ДРУГИЕ ИСТОЧНИКИ	130
7.4.1 Газификация	130
7.4.2 Газификация и производство энергии	131
7.4.3. Комбинированный цикл интегрированной газификации	132
7.5 ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГИИ	133
8. МЕТОДЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ	134
8.1 ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ	134
8.1.1 Общие положения	134
8.1.2 Распределительный трубопровод	136
8.1.3 Оборудование пользователя	137
8.1.3.1 Теплообменники	138
8.1.3.2 Система управления	138
8.2 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ	138
8.2.1. Шведская система электроснабжения	138
9. ПОЛУЧЕНИЕ ЭНЕРГИИ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА	141
9.1. ВВЕДЕНИЕ	141
9.2. БАЛАНС ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ	142
9.3 ВЫБРОСЫ	143
9.3.1 Двуокись серы	144
9.3.2 Окислы азота	144
9.3.3 Органические соединения	145
9.3.4 Пыль	146
9.3.5 Тяжелые металлы	146
9.4 УТИЛИЗАЦИЯ БИОЗОЛЫ	147
9.4.1 Общие положения	147
9.4.2 Общие требования государственных органов Швеции	147
9.4.3 Методы обработки золы	150
9.4.4 Методы транспортировки и внесения	151
9.5 ЭНЕРГИЯ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ И ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ	151
9.6 ДРУГИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ	152
10. ЭКОНОМИКА И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО	155
10.1 ВВЕДЕНИЕ	155
10.2 МАЛЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ И СТРУКТУРЫ	155
10.2.1 Введение	155
10.2.2 Типичные теплофикационные предприятия	156
10.2.3 Организационные формы предпринимательской деятельности в сфере теплоснабжения	157
10.2.3.1 Индивидуальные предприниматели	158
10.2.3.2 Объединения предпринимателей	158
10.2.3.3 Компании с ограниченной ответственностью	158
10.2.3.4 Энергетические кооперативы	159
10.2.4 Необходимые условия предпринимательской деятельности в сфере теплоснабжения	159

10.3 КРУПНЫЕ КОМПАНИИ	162
10.3.1 Использование подрядчиков (аутсорсинг) для частичного или полного выполнения работ	162
10.3.2 Обслуживание, качество и безопасность	163
10.3.3 Договоры, закупки и управление	163
10.3.4 Эффективное использование энергии	163
10.3.5 Продукты	164
10.3.6 Консультационная деятельность	164
10.3.7 Пример использования древесины на крупном предприятии	164
11. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА	166
11.1 ПРЕДЫСТОРИЯ	166
11.2 ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОЙ СИТУАЦИИ В ШВЕЦИИ	166
11.3 РАЗВИТИЕ СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ БИОМАССЫ В ШВЕЦИИ	167
11.4 ПЛАН ДЕЙСТВИЙ ПО РАЗВИТИЮ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ФИНЛЯНДИИ	170
12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМИНОВ И ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ	172
12.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДОВ ТОПЛИВА	172
12.2 ОБЪЕМ И ПЛОТНОСТЬ ТОПЛИВА	173
12.3 КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕСЧЕТА	173
12.4 СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ, ОБОЗНАЧАЮЩИХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ И ОБОРУДОВАНИЕ	174
12.5 СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ, ОТНОСЯЩИХСЯ К ПРОЦЕССУ СГОРАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВУ ТЕПЛА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	175
ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ	177

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЦЕЛИ

1.1.1 Общие положения

Значение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) возрастает в Европе и во всем мире. Для Европы возобновляемые источники энергии являются местными ресурсами, применение которых может способствовать увеличению независимости от импорта энергии, обеспечению безопасности поставок энергоресурсов, повышению уровня занятости, а также содействовать более эффективному развитию на местном и региональном уровнях. Развитие этой отрасли создает новые возможности для развития и торгово-экономической деятельности и, что наиболее важно, способствует снижению уровня CO₂.

Основной целью ЕС является удвоение доли возобновляемых источников энергии — до 12% к 2010 г. Предполагается, что основной рост использования ВИЭ будет достигнут за счет применения биомассы. Но насколько достижимы эти цели?

Обучение и распространение информации являются основными видами деятельности и инструментами реализации этого процесса. Все большее число людей нуждается в информации о возобновляемых источниках энергии — от систем поставок топливных материалов и технических данных до вопросов финансирования и охраны окружающей среды. Для многих в Европе применение биоэнергии, и в особенности энергии древесины, является новой областью, в связи с чем возникает потребность в базовой информации об этой отрасли.

Финляндия и Швеция имеют длительные традиции и обширный опыт применения древесины в качестве источника энергии. Значительная доля потребления энергии в этих странах удовлетворяется за счет топлива на основе древесных отходов. Можно сказать, что производство энергии из древесины становится новой специальной отраслью в лесном хозяйстве североевропейских стран.

Несмотря на значительное сходство этих стран, между ними имеются некоторые различия в отношении систем энергоснабжения и методов применения энергетических ресурсов. В этих странах применяют меры, которые взаимно дополняют друг друга. Например, в Швеции политика в области энергетики и система налогообложения направлены на расширение применения возобновляемых источников энергии. Это, в свою очередь, привело к значительному росту торговли древесным топливом. Однако в Финляндии предоставление государственных субсидий такого значительного воздействия на применение древесного топлива не получило.

Необходимо продолжить распространение информации о свойствах древесины, используемой в качестве топлива, методах производства древесного топлива и применении древесного топлива для выработки тепла и электроэнергии среди заинтересованных групп в европейских странах. Однако до настоящего времени не имелось комплексной системы услуг по проведению образовательных мероприятий и учебных курсов, которая охватывала бы всю сферу производства и применения древесного топлива "от пня до котла". Имеющаяся информация разбросана по различным источникам и публикациям.

Поэтому в соответствии с первоначальным планом по предложению Сети биоэнергетики BENET компании Йивяскила Сайэнс Парк Лтд., которая также осуществляла координацию реализации проекта, проект "Древесное топливо — базовый пакет информации (БПИ)" был включен в программу ЕС АЛТЕНЕР II. Партнером компании Йивяскила Сайэнс Парк Лтд. в этом проекте является компания Энергидален и Соллефтеа АВ.

Сбор информации осуществлялся совместными усилиями и в тесном взаимодействии с финскими и шведскими партнерами с использованием имеющихся данных и методов, применяемых в Финляндии и Швеции, а также в некоторых других европейских странах, в которых древесное топливо уже играет значительную роль в сфере энергетики или имеются потенциальные возможности для увеличения доли древесного топлива в производстве и потреблении энергии.

1.1.2 Цели проекта "Древесное топливо — базовый пакет информации"

Целью настоящего проекта по созданию БПИ является повышение уровня информированности о методах применения древесины в качестве возобновляемого источника энергии. Эта цель достигается посредством включения в учебную программу проверенной на практике информации о свойствах древесины, используемой в качестве топлива, основных источниках, видах и методах производства древесного топлива, применении древесного топлива для выработки тепла и электроэнергии и методах энергоснабжения. Одним из важных элементов программы является рассмотрение вопросов, относящихся к охране окружающей среды. Также представлен обзор возможных будущих сценариев применения древесного топлива.

Целевыми группами данного информационного пакета являются различные заинтересованные люди, включая преподавателей, лиц, ответственных за принятие решений в городах и других сообществах, потребителей и других лиц, для которых эти вопросы являются относительно новыми. Результаты реализации проекта включают проведение двухдневного интенсивного учебного курса (+ один демонстрационный день) и подготовку учебных материалов, представленных в письменной форме в настоящем пособии и комплекте слайдов, а также размещенных в Интернете. Настоящее учебное пособие предназначено в основном в качестве дополнительного материала к лекциям учебных курсов, но также может использоваться и самостоятельно.

1.1.3 Ограничения и связи с другими проектами

Настоящий проект посвящен только применению древесного топлива, включающего древесную биомассу и отходы деревообрабатывающих предприятий. Виды топлива, являющиеся продуктами переработки древесины, — такие, как черный щелок и пиролизное масло, — упоминаются только в некоторых разделах информационного пакета. Другие виды биомассы (торф, энергетические культуры, сельскохозяйственные отходы, отходы предприятий по переработке сельскохозяйственной продукции, навоз, а также органическая составляющая коммунально-бытовых твердых отходов, отсортированные бытовые отходы и канализационный шлам) не рассматриваются в настоящем проекте. В некоторых примерах упоминается совместное применение древесины и торфа в производстве энергии.

Информационный пакет содержит базовую информацию о видах, методах получения и применении древесного топлива. Пакет не содержит подробных описаний технических аспектов и производственных цепочек. Основное внимание уделяется методам и принципам коммерческой деятельности. Дается описание некоторых видов машин, оборудования, методов производства, транспортировки и использования биотоплива на действующих установках. В главе 11 приводится обзор научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и перспективных технологий.

Сбор данных для настоящего проекта производился в основном с использованием имеющейся доступной информации из финских и шведских информационных источников. Например, важным источником информации являются результаты реализации Программ исследований в области применения биоэнергии в Финляндии 1993-1998 гг. Использовались также недавние публикации таких учреждений, как Финский национальный центр технологических исследований (VTT Энержи), FINBIO (Ассоциация биоэнергетики Финляндии), BENET, Институт лесохозяйственных исследований, Институт эффективности труда (Институт TTS). Также использовались данные, предоставленные другими проектами Программы ALTENER, включая AFB-сеть (AFB-network), и учреждениями — такими, как Институт ITB. В Швеции сбор данных осуществлялся с использованием результатов проектов по развитию биоэнергии, например проекта Ваттенфалл (Vattenfall) (1989-1997). Использовались также публикации SVEBIO — Ассоциации биоэнергетики Швеции. Одним из ценных источников информации являются результаты работы компании Энергидален в сфере биоэнергии (в основном относящиеся к сжиганию гранулированной древесины). Также широко использовались данные исследований, выполняемых Национальным советом лесного хозяйства и Институтом радиационной защиты Швеции, и данные из сборника работ по методам сжигания топлива компаний Ларс Вестер (Lars Wester), ВедТек (VedTek), Института сельскохозяйственного машиностроения Швеции, компаний ЭНЕРЖИФАКТА (ENERGIFAKTA) и издания "Штудентлитератур" ("Studentlitteratur").

1.2 БЕЛАЯ КНИГА

1.2.1 Общие положения

Изменение климата является предметом активных дискуссий и дебатов на международном уровне. Требуется принятие срочных мер для решения этой проблемы. Согласно решениям соответствующих органов ЕС промышленно развитые страны должны сократить выбросы парниковых газов на 15% в период с 1990 по 2010 г. В документе Европейской комиссии, озаглавленном "Энергетическое измерение изменения климата", изданном в 1997 г., подчеркивается роль возобновляемых источников энергии. Применение возобновляемых источников энергии имеет ряд существенных преимуществ, позволяя повысить степень занятости и обеспечить более эффективное развитие на местном и региональном уровнях, сократить импорт топлива, повысить безопасность поставок энергоресурсов, увеличить экспорт, а также обеспечить более эффективную охрану окружающей среды.

Так называемая Зеленая книга — документ под названием "Энергия для будущего: возобновляемые источники энергии" — была опубликована в ноябре 1996 г., явившись первым шагом на пути реализации стратегии развития возобновляемых источников энергии в Европе. Через год после издания Зеленой книги была выпущена Белая книга ("Энергия для будущего 1997"), в которой излагается план действий по повышению роли возобновляемых источников энергии на энергетических рынках. В Белой книге дается подробное описание мер по развитию внутреннего рынка, политики, проводимой на местном уровне, мер по укреплению сотрудничества между государствами — членами ЕС и мер поддержки — таких, как Программа АЛТЕНЕР.

В Белой книге Европейская комиссия подчеркивает роль образования и обучения при реализации плана действий. Среди упоминаемых Комиссией мер — предоставление пользователям информации о товарах и услугах надлежащего качества в сфере возобновляемых источников энергии, а также сбор и распространение данных о наилучшем опыте оказания услуг и эксплуатации систем.

1.2.2 Возобновляемые источники энергии в Европе

В настоящее время использование возобновляемых источников энергии (включая биомассу, гидроэнергию, ветровую, солнечную тепловую, геотермальную энергию) в странах Европейского Союза является неравномерным и недостаточным. Хотя многие виды возобновляемых источников энергии имеются в избытке и представляют значительный экономический потенциал, их доля в энергетическом балансе Европейского Союза несоизмеримо мала — всего 6% общего потребления энергии; в настоящее время прогнозируется устойчивое увеличение их доли в структуре энергопотребления. В 1996 г. доля возобновляемых источников энергии составляла 9,8% общего производства первичной энергии и 5,3% общего потребления энергии в странах ЕС. Эти показатели существенно варьируются в зависимости от страны. Возобновляемые источники энергии используются в основном в Швеции, Австрии, Финляндии и Португалии, где их доля в структуре общего внутреннего энергопотребления составляет от 15 до 25% (рис. 1.1. и 1.2).

Зависимость ЕС от импорта энергии уже составляет 50% и в случае, если не будет предпринято никаких мер, прогнозируется ее дальнейший рост до 70% в 2020 г. Это в особенности относится к нефти и газу, которые будут во все более возрастающем объеме поступать из источников, расположенных далеко за пределами Европейского Союза, и импорт которых часто связан с определенными геополитическими рисками. Таким образом, основное внимание будет уделяться вопросам безопасности энергоснабжения. Получение энергии, источником которой служат местные возобновляемые энергетические ресурсы, будет играть все более возрастающую роль в сокращении импорта энергии, что окажет положительное воздействие на торговый баланс и безопасность энергоснабжения ("Энергия для будущего 1997").

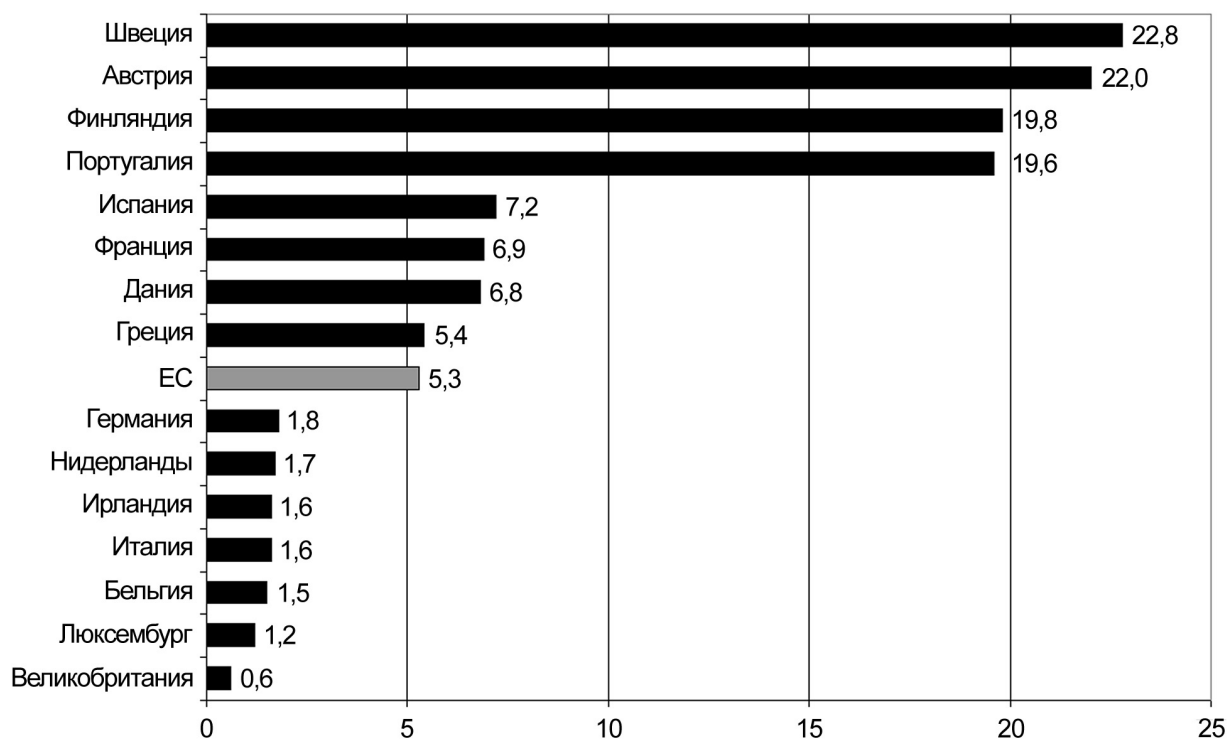


Рис. 1.1. Доля источников возобновляемой энергии в ЕС в 1996 г. ("Энергия в Европе" (Energy in Europe), 1998).

кг условного топлива
в пересчете на нефть

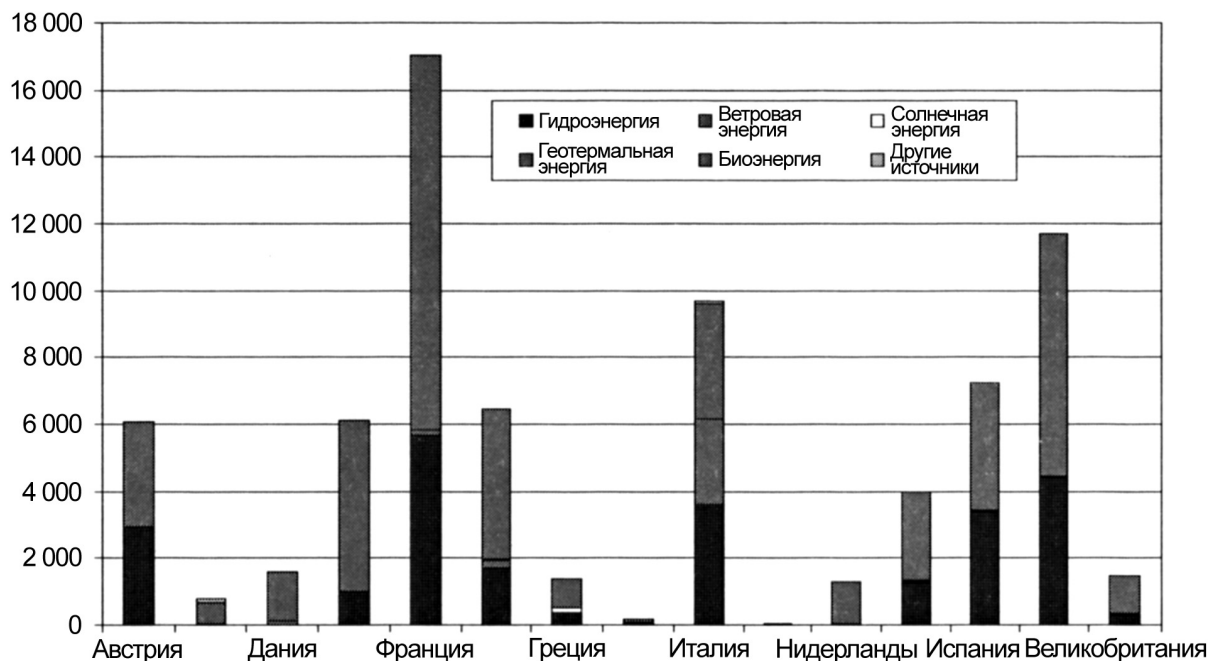


Рис. 1.2. Использование источников возобновляемой энергии в Европейском Союзе (в кг условного топлива в пересчете на нефть) в 1996 г. ("Энергия в Европе" (Energy in Europe), 1998).

С учетом имеющегося технического потенциала доля возобновляемых источников энергии является неприемлемо низкой в энергетическом балансе Европейского Союза. Однако имеются признаки того, что эта ситуация, хотя и медленно, начинает изменяться. Энергия биомассы, вырабатываемой в том числе и из энергетических культур, а также ветровая и солнечная энергия составляют неосвоенный технологический потенциал. Рост использования возобновляемых источников энергии является важным фактором в достижении этих целей. Стратегия использования возобновляемых источников энергии была предложена и подробно описана в "Примерной рабочей программе", приложенной к разделу "Энергетическая политика" Белой книги. Стратегия Европейского Союза определяет условия деятельности в этой сфере и повышает ценность инициатив отдельных стран, усиливая общее положительное воздействие предлагаемых мер. При этом меры, принимаемые отдельными странами, должны сыграть ключевую роль в достижении целей, определенных в Белой книге ("Энергия для будущего 1997").

Например, в Финляндии в соответствии с рекомендациями, содержащимися в Белой книге, Министерство торговли и промышленности подготовило и опубликовало План действий по использованию источников возобновляемой энергии (1999), являющийся государственной программой и охватывающий все имеющиеся в Финляндии источники возобновляемой энергии. Наиболее важной целью, определенной в Плате действий, является повышение конкурентоспособности возобновляемых источников энергии по сравнению с другими источниками энергии. Конкретные меры включают разработку и внедрение в серийное производство новых технологий, а также ряд финансовых мер, включая регулирование налогов и оказание инвестиционной поддержки. Также была выполнена экологическая экспертиза Плана действий (Tuhkanen & Pipatti, 1999) с целью снижения воздействия процессов производства энергии на окружающую среду.

Общее потребление энергии из возобновляемых источников в 2010 г.
Всего: 182 Мт условного топлива в пересчете на нефть (11,5%)

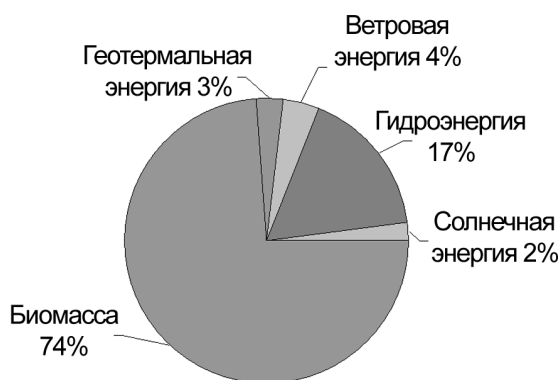


Рис. 1.3. Целевые показатели доли возобновляемых источников энергии для стран Европейского Союза на 2010 г. ("Кампания по развитию ВИЭ 1999").

Общий целевой показатель ЕС, предусматривающий удвоение доли возобновляемых источников энергии, которая должна достигнуть 12% в 2010 г., предполагает, что государства — члены ЕС должны обеспечить рост использования ВИЭ в соответствии с имеющимся потенциалом (рис. 1.3, 1.4, 1.5). Постановка конкретных целей в каждой из стран ЕС могла бы стимулировать более активное использование имеющегося потенциала и стать эффективным инструментом снижения уровня выбросов CO₂, что позволило бы снизить зависимость от импорта энергоресурсов, а также способствовало бы развитию национальной промышленности и созданию рабочих мест. Таким образом, одной из важных задач является разработка каждой из стран ЕС собственной стратегии деятельности, в рамках которой она определила бы свой вклад в достижение целей 2010 г. Таким образом страны ЕС могли бы определить степень использования различных технологий в реализации поставленной задачи и предложить меры, необходимые для обеспечения более эффективного развития ("Энергия для будущего 1997").

С целью дальнейшего развития рынков твердой биомассы следует активно содействовать реализации следующих мер ("Энергия для будущего 1997"):

- ♦ совместное сжигание с ископаемым топливом или замещение ископаемого топлива на энергетических установках, работающих на угле и в существующих сетях централизованного теплоснабжения;
- ♦ строительство новых сетей централизованного тепло- или холодоснабжения с использованием работающих на биомассе систем комбинированного производства тепловой и электрической энергии;

- ♦ обеспечение большего доступа к улучшенным видам топлива (таким, как гранулированная древесина) и более интенсивное использование соответствующих лесосечных отходов и отходов деревообрабатывающих целлюлозно-бумажных предприятий;
- ♦ использование новых высокопроизводительных электростанций комбинированного цикла с внутрицикловой газификацией угля (IGCC) мощностью 25-29 МВтэ, работающих на смеси биомассы с вторичным топливом;
- ♦ поддержка проектов чистого производства энергии из коммунально-бытовых твердых отходов с использованием методов тепловой обработки, получения газа из органических отходов или анаэробного сбраживания при условии, что выработка энергии из отходов не заменяет мер по предотвращению образования и утилизации отходов.

Мт условного топлива в
пересчете на нефть

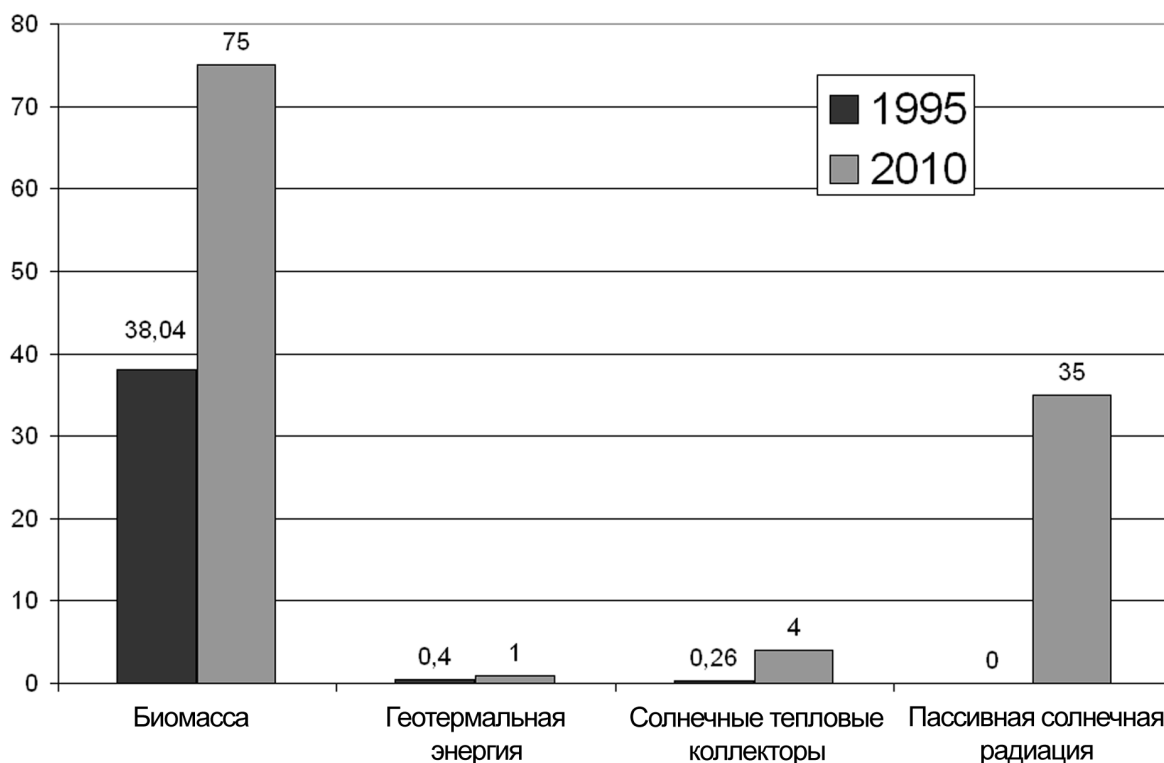


Рис. 1.4. Использование возобновляемых источников энергии для выработки тепловой энергии в 1995 г. и целевой показатель на 2010 г. ("Кампания по развитию ВИЭ 1999").

Недавно Европейский Союз опубликовал документ с изложением стратегии развития комбинированного производства тепловой и электрической энергии (ТЭЦ) ("Стратегия сообществ...1997"). Установки ТЭЦ играют исключительно важную роль в обеспечении успешной реализации проектов, предусматривающих использование биомассы. Возможно, что к 2010 г. почти 1/3 всего прироста использования биомассы будет приходиться на эти технологии. Применение систем централизованного тепло- и холодоснабжения также играет важную роль в максимизации финансовых и экономических преимуществ комбинированного цикла производства тепловой и электрической энергии. Увеличение использования биоэлектроэнергии связано, как и применение ветровой и солнечной электроэнергии, с реализацией предложенных Европейским Союзом широкомасштабных мер по обеспечению справедливого доступа к рынку электроэнергии ("Энергия для будущего 1997").

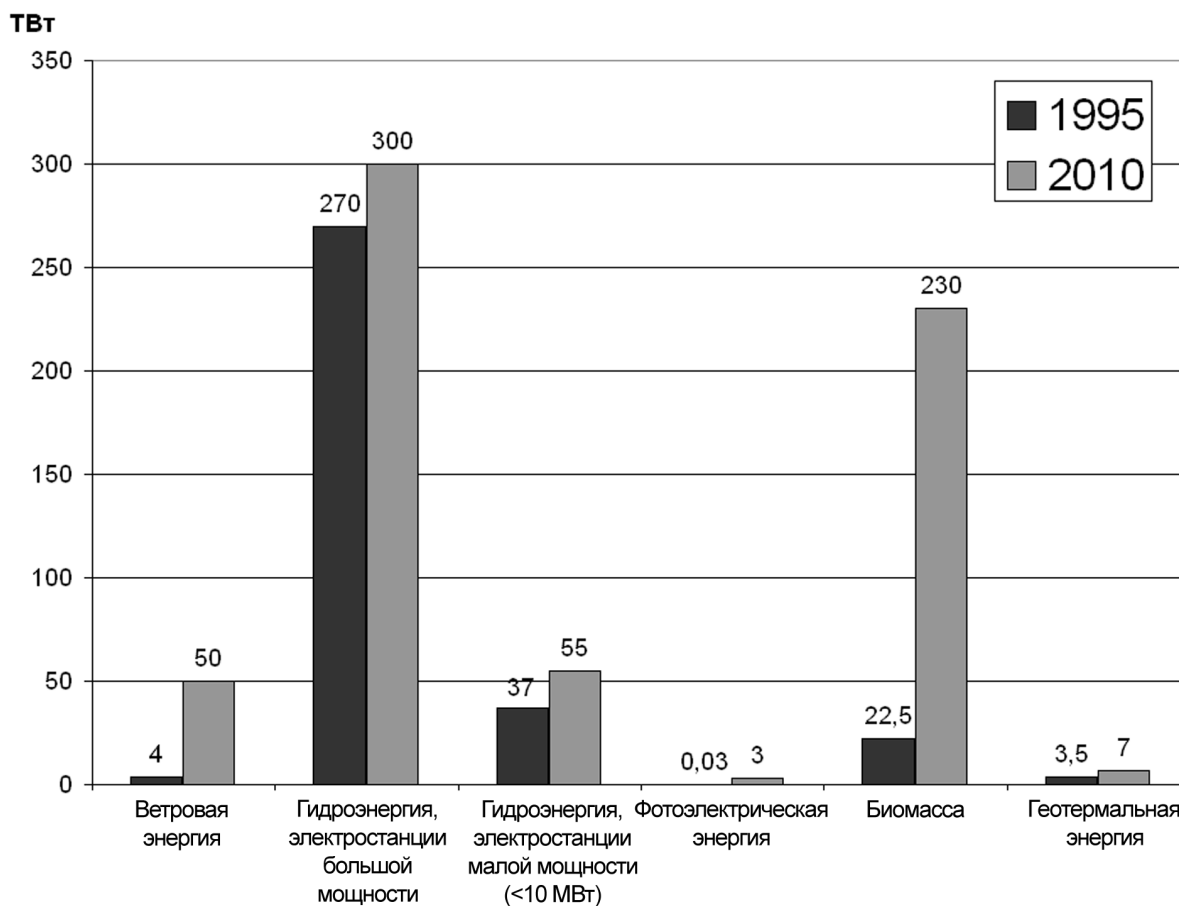


Рис. 1.5. Использование возобновляемых источников энергии для выработки электроэнергии в 1995 г. и целевой показатель на 2010 г. ("Энергия для будущего 1997").

В Белой книге определяются три основных направления развития возобновляемой энергетики. Они соответствуют развитым технологиям, которые считаются необходимым условием достижения цели увеличения доли ВИЭ до 12%, но которые также требуют поддержки на начальном этапе с целью ускорения развития и расширения присутствия на рынке, что будет способствовать повышению их экономической эффективности и, следовательно, снижению издержек. Четвертым приоритетным направлением является развитие возобновляемой энергетики в сообществах с доведением доли использования ВИЭ в производстве энергии до 100%. Несмотря на то, что технологии производства энергии из возобновляемых источников достигли определенного уровня развития, существуют многочисленные факторы, препятствующие их проникновению на рынок энергоресурсов. Европейский Союз планирует проведение кампании, направленной на развитие сферы возобновляемой энергетики с целью оказания содействия в широкомасштабном использовании возобновляемых энергоресурсов для производства энергии и удвоения до 2010 г. доли возобновляемых источников энергии в балансе энергопотребления ЕС, а также выработки скоординированной политики в этой области во всех странах ЕС. Проведение этой кампании займет несколько лет и потребует тесного взаимодействия между странами ЕС и Европейской комиссией. Предлагаемая кампания предусматривает реализацию ряда широкомасштабных проектов в различных секторах возобновляемой энергетики и будет способствовать расширению использования возобновляемых источников энергии ("Кампания по развитию ВИЭ 1999").

Кампания по развитию ВИЭ предусматривает развитие основных секторов возобновляемой энергетики, в том числе ввод в эксплуатацию:

- ♦ 1 000 000 фотоэлектрических систем;
- ♦ 15 млн. м² солнечных коллекторов;
- ♦ ветротурбинных генераторов мощностью 10 000 МВт;

- ♦ установок комбинированного производства тепловой и электрической энергии мощностью 10 000 МВтт;
- ♦ 1 000 000 зданий, отапливаемых с использованием энергии, полученной из биомассы;
- ♦ установок на биогазе мощностью 1000 МВт;
- ♦ получение 5 млн. т жидкого биотоплива.

1.3 ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Биомасса состоит из органических твердых веществ растительного происхождения — таких, как кустарники, деревья, трава, торф. Понятие биотоплива относится к категории жидких видов вторичного топлива, вырабатываемых из биомассы. Существует несколько методов получения жидких топлив из древесины, включая производство метанола и этанола методом гидролиза и пиролиза с использованием процесса газификации (VTT Energia, 1999).

В настоящем пособии основное внимание уделяется древесной биомассе. Все виды древесной биомассы, которые не могут быть использованы на предприятиях лесной промышленности, пригодны для производства энергии из древесины. Топливная древесина включает ветви, крону, тонкомерные деревья и другие виды низкосортной древесины или части деревьев, непригодные для промышленной переработки. В целом топливо из "лесной" древесины можно определить как топливо, состоящее из отходов, образующихся при промышленных рубках леса и рубках ухода. Теоретически они являются значительным потенциальным источником древесной биомассы, однако в настоящее время они не используются в связи с отсутствием экономически эффективных и приемлемых в техническом отношении методов их заготовки и переработки.

Кроме лесосечных отходов для производства биомассы используют отходы деревообрабатывающей промышленности — такие, как кора и опилки, а также утилизированную древесину, включая строительные отходы (древесные отходы, образующиеся при сносе зданий и сооружений или древесину тары). В целом биомасса является наиболее значительным источником возобновляемой энергии. В настоящее время на долю биомассы приходится около 3% валового энергопотребления 15 стран ЕС. Однако между странами ЕС имеется ряд различий в этой сфере, которые будут указаны ниже.

Вторичное древесное топливо включает древесное топливо, полученное в процессе химической обработки (например, черный щелок) и утилизации материалов на древесной основе (например, бумаги, биологических шламов). Эти материалы в настоящем пособии не рассматриваются.

1.4 ИСКОПАЕМОЕ ТОПЛИВО И ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО — ОСНОВНЫЕ РАЗЛИЧИЯ

Древесина и биомасса содержат накопленную растениями солнечную энергию. Только зеленые растения способны производить новую биомассу в результате химического процесса, именуемого фотосинтезом. В этом процессе участвуют солнечный свет, вода, минеральные вещества почвы и углекислый газ (CO_2). Реакция фотосинтеза протекает до тех пор, пока имеются солнечный свет, вода и CO_2 . Процесс горения с выделением углекислого газа является одним из элементов нормального природного круговорота. Пожары и естественное горение обширных лесных массивов являются одним из компонентов динамики лесных экосистем во всех регионах земного шара (например, северных лесов в Канаде, лесных массивов в североевропейских странах и государствах Прибалтики).

Образование ископаемого топлива происходило в ходе геологических процессов глубоко под землей в течение миллионов лет. Хотя ископаемое топливо также имеет растительное происхождение, его нельзя отнести к возобновляемым источникам энергии из-за медленного процесса образования такого топлива. Неизбежным является истощение запасов ископаемого топлива, в особенности запасов нефти. По существующим оценкам запасы имеющейся на земле нефти иссякнут через 100-200 лет в зависимости от того, в какой степени учитываются те месторождения нефти, использование которых в настоящее время является чрезвычайно сложной задачей из-за отсутствия необходимых для ее добычи технологий в связи с тем, что они либо залегают на большой глубине, либо нефть имеет нетрадиционный вид (VTT Energia 1999).

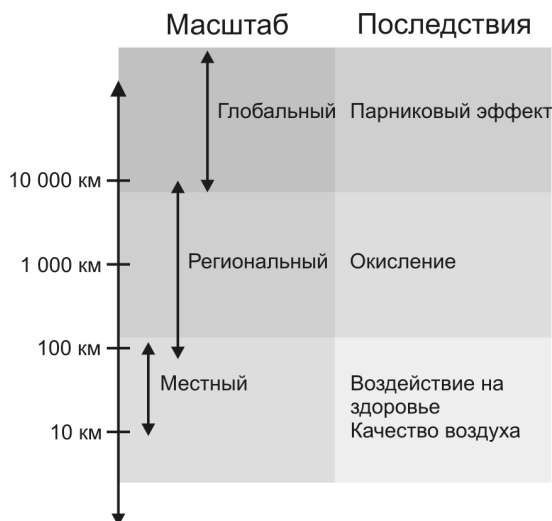


Рис. 1.6. Производство энергии и масштабы различных экологических последствий (VTT Energia 1999).

В этой главе рассматриваются некоторые общие характеристики древесного и ископаемого топлива. Свойства древесного топлива описаны более подробно в главе 2. Большинство вопросов, относящихся к охране окружающей среды, таких как утилизация золы, более подробно рассматриваются в главе 9. Использование древесины в качестве источника возобновляемой энергии в значительной степени обусловлено экологическими аспектами. Поэтому эти вопросы необходимо учитывать при разработке и планировании проектов. В настоящей главе основное внимание уделяется проблеме парникового эффекта – глобального явления, которое оказывает воздействие на нашу жизнь, где бы мы ни находились, и является предметом обсуждения во всех странах мира. Механизм парникового эффекта, а также вызываемые этим явлением изменения климата описываются в главе 1.4.1. Какую роль играют возобновляемые источники энергии в борьбе против глобального потепления?

1.4.1 Парниковый эффект

1.4.1.1 Как это происходит?

Тепловое излучение солнца нагревает атмосферу и поверхность Земли. В то же время тепловой поток отражается от поверхности Земли. В атмосфере имеются так называемые парниковые газы, которые отражают тепловое излучение Земли обратно к ее поверхности. Этот процесс, который называют парниковым эффектом, является необходимым условием жизни на земле. (рис. 1.6 и 1.7). Без парниковых газов средняя температура земли была бы – 21 °C вместо 15 °C. Парниковый эффект является естественным и необходимым явлением, благодаря которому на земле сохраняется приемлемая для поддержания жизни температура.

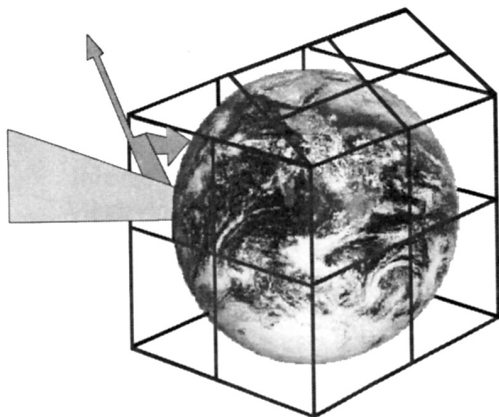


Рис. 1.7. Принцип парникового эффекта (источник: www.ilmasto.org)

Большинство природных парниковых газов состоит из углекислого газа (CO_2) и водяного пара. Наиболее важные парниковые газы, являющиеся продуктом жизнедеятельности людей, включают углекислый газ (CO_2), метан (CH_4) и динитрогеноксид, или веселящий газ (N_2O). Парниковые газы различаются по степени интенсивности воздействия на окружающую среду. Парниковые газы характеризуются потенциалом глобального потепления или ПГП (табл. 1.1.).

Таблица 1.1. Сроки жизни и потенциалы глобального потепления (ПГП) углекислого газа, метана и динитрогеноксида. ПГП представлен на период от 20 до 100 лет (Lammi et al. 2000).

Газ	Срок жизни (лет)	ПГП 20 лет	ПГП 100 лет
CO_2	50-200	1	1
CH_4	12	56	21
N_2O	120	280	310

Например, избыточное количество CO_2 в атмосфере приводит к нарушению равновесия между парниковыми газами. В результате возникает ситуация, когда парниковые газы начинают отражать больше теплового излучения к поверхности Земли, что приводит к постепенному повышению сред-

ней температуры и изменению климатических условий. Например, со времени доиндустриального периода в результате жизнедеятельности человечества количество CO_2 в атмосфере возросло на 29%, а количество CH_4 увеличилось более чем в два раза (Lammi et al. 2000).

Наиболее значительным источником выбросов парниковых газов является сжигание ископаемого топлива и топлива транспортных средств. При сжигании ископаемого топлива, т.е. нефти, газа и природного газа, выделяется углерод, который в течение длительного времени находился под землей. Другие источники выбросов включают, например, лесные пожары, производственные процессы, свалки, сельскохозяйственную деятельность. Увеличение количества двуокиси углерода в атмосфере приводит к необратимым изменениям в содержании в атмосфере углекислого газа. По существующим оценкам на долю углекислого газа приходится 66% глобального потепления. В глобальном масштабе приблизительно 75% выбросов двуокиси углерода приходится на производство энергии и транспортные средства и на 20% общее содержание углекислого газа увеличивается в результате уничтожения лесов (Lammi et al. 2000).

Промышленно развитые страны могут уменьшить уровень выбросов CO_2 посредством, например:

- ♦ повышения эффективности энергопотребления;
- ♦ замещения при производстве энергии ископаемого топлива возобновляемыми источниками энергии;
- ♦ снижения объема транспортных потоков за счет замещения частных транспортных средств и воздушного транспорта общественным транспортом и снижения интенсивности транспортного движения;
- ♦ компостирования гниющих отходов (Lammi et al. 2000).

Конечно, довольно сложно неоспоримо доказать, что изменение климата вызвано естественным изменением климатических условий. Однако в настоящее время существует значительное число свидетельств, подтверждающих теории изменения климата. С 1850 г., когда начали производить регулярные измерения погодных условий, 10 наиболее теплых лет в мировой истории пришлось на период после 1983 г., и семь из них на 90-е гг. 1997 и 1998 были наиболее теплыми годами за всю историю наблюдений. За период с 19-го века средняя температура земли повысилась на $0,3 - 0,6^\circ\text{C}$, прибавив $0,2 - 0,4^\circ\text{C}$ только за последние 40 лет. Межправительственная комиссия по наблюдению за изменением климата (IPCC), учрежденная ООН в 1998 г., определила, что только парниковые газы вызовут повышение средней температуры Земли на $1 - 3,5^\circ\text{C}$ к 2100 г. (Lammi et al. 2000).

В исследованиях климатических изменений все еще существует некоторый элемент неопределенности. Парниковый эффект оказывает различное воздействие в различных регионах, однако очевидно, что суммарный эффект воздействия является негативным. В европейском регионе вызывает вопросы дальнейшее поведение течения Гольфстрим. В соответствии со многими климатическими моделями прогнозируется ослабление течения под воздействием усилившегося притока свежей воды из Северной Атлантики. Это привело бы к радикальным изменениям климата Северной Европы. В настоящее время течение Гольфстрим повышает температуру приблизительно на 10% (Lammi et al. 2000). В целом скорость происходящего в настоящее время изменения климата превышает адаптационную способность многих экосистем. Трудно предсказать воздействие такого быстрого изменения климатических условий, и, возможно, нам придется столкнуться с неприятными сюрпризами. Например, взаимодействие различных факторов и механизмов обратной связи может привести к тому, что изменения будут происходить более быстрыми темпами, чем прогнозировалось когда-либо ранее. Крайним и наиболее устрашающим примером возможного воздействия механизмов обратной связи является так называемое ускоряющееся изменение климата, когда самоускоряющиеся процессы вызывают более быстрое потепление. Примеры этого явления включают увеличение выбросов метана в результате таяния слоя вечной мерзлоты, изменение способности океанов связывать углерод и повышение числа лесных пожаров (Lammi et al. 2000).

Прогнозируется, что в целом изменение климата вызовет:

- ♦ повышение уровня моря, что приведет к затоплению многих островных государств и низколежащих прибрежных районов;
- ♦ сокращение природного биоразнообразия;

- ♦ уменьшение числа сельскохозяйственных культур во многих регионах;
- ♦ учащение или усиление экстремальных погодных явлений — таких, как наводнения, засухи, смерчи и ураганы;
- ♦ повышение уровня заболеваемости тропическими болезнями — такими, как малярия (Lammi et al. 2000).

1.4.1.2 Последствия изменения климата

Изменение климата оказывает различное воздействие на жизнедеятельность людей и экосистемы. Воздействие на жизнедеятельность людей включает:

- ♦ сокращение производства продуктов питания и количества чистой пресной воды;
- ♦ более широкое распространение инфекционных заболеваний;
- ♦ возможное учащение экстремальных погодных явлений — бурь, наводнений, оползней;
- ♦ усиление интенсивности погодных явлений в Эл Нино и Ла Нино;
- ♦ повышение уровня моря.

Изменение климата приведет к сокращению производства продуктов питания и количества пресной воды во многих регионах. Обусловленное повышением температуры испарение воды вызовет увеличение количества осадков и более длительные периоды засухи во многих засушливых регионах. Нехватка пресной воды может вызвать серьезные конфликты. Снижение урожая зерновых культур может привести к голоду в различных частях мира, а повышение уровня моря и наводнения — к сокращению и засолению пахотных земель (Lammi et al. 2000).

Потепление климата на 3-5°C в течение 100 лет приведет к увеличению доли населения, подверженного риску заболевания малярией, с 45 до 60%. Также прогнозируется распространение холеры, сальмонеллеза, лихорадки денге и желтой лихорадки.

Станут более частыми и сильными грозы и тропические бури и произойдет усиление интенсивности погодных явлений в Эл Нино и Ла Нино. Прогнозируется, что в течение последующих 100 лет уровень моря повысится на 15-90 см, что приведет к затоплению огромных участков земли, например 6% территории Голландии, 17% территории Бангладеш, и полному исчезновению многих островных государств (Lammi et al. 2000).

Воздействие на экосистемы будет иметь ряд последствий, таких как:

- ♦ лесная растительность претерпит радикальные изменения;
- ♦ вымирание многих видов;
- ♦ станут более частыми и сильными лесные пожары.

Границы теплых поясов будут перемещаться в направлении к полюсу со скоростью 150-500 км за сто лет, в то время как растения способны переместиться за этот же период времени только на 4-200 км. Будет происходить деградация экосистем, учащаются лесные пожары, в особенности в северных бореальных лесах, увеличится число вредителей культурных растений. Прогнозируется радикальное изменение растительности в 1/3 мировых естественных лесов; например, в южной Европе могут исчезнуть 80% заболоченных земель. Изменения экосистем приведут к уничтожению сред обитания многих животных и увеличению скорости вымирания многих видов. Например, прогнозируется, что в случае сохранения существующих темпов изменения климата через сто лет полностью исчезнут коралловые рифы государств (Lammi et al. 2000).

Имеются неоспоримые свидетельства воздействия человека на климат. Например, ученые НУОАИ (Национального управления океанических и атмосферных исследований США), изучив ряд документов, содержащих исторические и биологические данные, заключили, что 20-й век был самым теплым веком, а 1998 г. — самым теплым годом за последние 1200 лет. Исследователи НУОАИ также доказали, что теплый период, который наблюдался в средние века, не являлся глобальным явлением, а ограничивался Северной Европой и Северной Америкой. Это означает, что никакие естественные и известные в природе явления не могут объяснить повышение средней температуры в 20-м столетии (Lammi et al. 2000).

Данные измерений, полученные с помощью спутников, температура глубинных слоев воды в океане, уменьшение ледников, таяние айсбергов и слоя вечной мерзлоты в Аляске и других северных районах тундры, увеличение облачности и повышение ночной температуры, раннее начало

фотосинтеза растений в Северном полушарии, "перемещение" растений на большие высоты в Швейцарских и Австрийских Альпах и изменение путей миграции различных видов животных являются наглядными доказательствами глобального потепления (Lammi et al. 2000).

1.4.1.3 Борьба с изменением климата

Можем ли мы еще что-нибудь предпринять, чтобы предотвратить серьезные последствия изменения климата? Процесс изменения климата можно замедлить до уровня, на котором будет минимизирован ущерб людям и экосистемам, хотя это потребует значительных усилий.

Если мы хотим ограничить воздействие изменения климата, допустив повышение средней температуры Земли в течение последующих ста лет только на 1°C, содержание CO₂ в атмосфере, составляющее сейчас 360 частей на миллион, следует снизить до уровня 348 частей на миллион (по данным Межправительственной комиссии по наблюдению за изменением климата (IPCC)). Для достижения этой цели необходимо немедленно снизить существующий уровень выбросов CO₂ на 50-70%. Существующий уровень, составляющий 360 частей на миллион, можно сохранить в том случае, если количество выбросов будет сокращено вдвое к 2035 г. и рост выбросов будет полностью остановлен к 2060 г. После этого потребуется обеспечить эффективное связывание углерода в атмосфере. Согласно данным так называемой методики расчета выбросов углерода организации "Гринпис" (Greenpeace), возможно использование только около 20% экономически эффективных запасов ископаемого топлива. Если мы пойдем на больший риск, допустив увеличение средней температуры на 2°C в течение одного столетия, то содержание CO₂ стабилизируется на уровне 436 частей на миллион. Для достижения даже этого уровня объем выбросов должен быть сокращен в ближайшее время и уменьшен вдвое после 2050 г. (Lammi et al. 2000).

В связи с этим возникает вопрос о справедливости мер по снижению уровня выбросов. Должны ли развивающиеся страны принимать те же меры, что и промышленно развитые страны, на которых главным образом и лежит ответственность за возникновение этой проблемы? Одним из способов расчета приемлемого и безопасного уровня выбросов является определение так называемой экологической нормы выброса в атмосферу двуокиси углерода. Эта норма представляет собой уровень потребления, не создающий риска ухудшения ситуации при сохранении будущими поколениями аналогичного уровня потребления. Согласно данным расчетов экологическая норма выбросов или допустимый предел выбросов CO₂ составляет 1,7 т CO₂ на душу населения в год. Например, в Финляндии на каждого жителя приходится в среднем около 12 т выбросов CO₂ в атмосферу в год (Lammi et al. 2000).

В промышленно развитых странах, таких как Финляндия, выбросы от производства энергии составляют 75% суммарных выбросов двуокиси углерода. Количество выбросов может быть снижено почти на 90% посредством следующих технических мер:

- ♦ сокращения потребления энергии на 50% за счет повышения эффективности использования энергии;
- ♦ увеличения комбинированного производства тепловой и электрической энергии;
- ♦ увеличения степени использования возобновляемых источников энергии, т.е. древесины, ветровой и солнечной энергии.

Древесное топливо характеризуется более высокими удельными выбросами двуокиси углерода по сравнению с ископаемыми видами топлива, имеющими высокую долю водорода в энергетическом содержании топлива (табл. 1.2). Однако древесное топливо не увеличивает содержания CO₂ в атмосфере. Количество CO₂, выделяемое при сгорании древесного топлива, равно количеству CO₂, поглощаемому растениями. Зеленые растения, такие как деревья, используют углерод для создания новой биомассы в процессе фотосинтеза. Некоторый вклад в выбросы CO₂ вносят только машины и оборудование, используемые при проведении лесозаготовок и транспортировке древесного топлива. Эта энергия, необходимая для заготовки древесного топлива, определяется как "вспомогательная" энергия. По данным компании Ваттенфалл энд Ангрпаннефоринген Энержиконсалт (Vattenfall and Angpanneforeningen Energiekonsult) (Швеция) доля вспомогательной энергии в древесном топливе ниже, чем в ископаемом топливе. Доля вспомогательной энергии в энергетическом содержании древесного топлива не превышает 3%, в то время как в природном газе и угле она составляет соответственно 5 и 6% (Jansson, 1994).

Таблица 1.2. Удельные выбросы двуокиси углерода при сжигании различных видов топлива (Hakkila et al. 1998).

Топливо	гСО ₂ /кВт·ч
Древесина	400
Природный газ	200
Нефть	270
Торф	400

Транспорт является вторым крупнейшим источником выбросов СО₂ в Финляндии, на долю которого приходится приблизительно 25% выбросов. Наиболее проблемными видами транспорта с точки зрения воздействия на изменение климата являются воздушный и автомобильный. Другими источниками выбросов являются сельскохозяйственное производство, места сбора и утилизации отходов, промышленные и лесохозяйственные предприятия. В Финляндии на долю сельскохозяйственного производства приходится 36% выбросов метана и 50% выбросов динитрогенаоксида. Вклад свалок в выбросы метана в Финляндии составляет 54%. Уровень этих выбросов можно значительно снизить, повысив эффективность компостирования биоотходов и утилизируя древесину и бумагу. Метан можно использовать как биогаз в производстве энергии и в качестве топлива для транспортных средств. Исследователи в области лесного хозяйства утверждают, что способность лесов связывать углерод можно повысить, развивая методы ведения лесного хозяйства (Lammi et al. 2000).

Помимо технических мер в борьбе с изменением климата, мы также можем использовать ряд политических и финансовых мер, таких как:

- ♦ целевое налогообложение, применяемое в отношении выбросов СО₂, может снизить уровень выбросов СО₂;
- ♦ предоставление государственных субсидий, оказание поддержки и разработка законодательства в сфере использования возобновляемых источников энергии;
- ♦ введение правил, регулирующих потребление энергии, в отношении различных видов оборудования и зданий;
- ♦ предоставление субсидий для поддержки внедрения и эксплуатации специальных систем теплоснабжения — таких, как тепловые насосы и солнечные энергетические системы;
- ♦ комплексное планирование в сфере энергетики, предусматривающее субсидирование проектов энергосбережения и производства энергии (например, комплексное планирование ресурсов (КПР), используемое в США);
- ♦ заключение контрактов между государственными органами и компаниями в сфере энергосбережения и использования возобновляемых источников энергии;
- ♦ установление общегосударственных целевых показателей уровня выбросов для различных отраслей и компаний с наложением санкций в случае их нарушения. Следует также рассмотреть возможности торговли квотами на выбросы внутри страны;
- ♦ принятие мер, направленных на снижение интенсивности транспортного движения и поддержку общественного транспорта;
- ♦ международное сотрудничество с целью реализации положений Киотского протокола (Lammi et al. 2000).

В заключение следует отметить, что возобновляемые источники энергии, в том числе древесные ресурсы, играют или могут играть определяющую роль в снижении уровня выбросов. Леса в буквальном смысле слова могут стать нашим зеленым золотом в борьбе с глобальной угрозой изменения климата.

1.4.2 Окисление

Выделения двуокиси серы (SO_2) и двуокиси азота (NO_2) являются основными причинами окисления озер и других водных объектов, а также лесов и почв.

Уголь и нефть извлекаются из-под поверхности земли. При сжигании этих видов ископаемого топлива выделяется сера, которая затем выпадает на поверхность земли вместе с дождем в виде серной кислоты (H_2SO_4). Сжигание древесного топлива оказывает незначительное воздействие на количество серы (S), выпадающей на поверхность земли. Количество серы, связываемой древесиной деревьев и выделяемой при горении, практически равно количеству серы, поглощаемой растущими деревьями.

Однако заготовка лесосечных отходов приводит к некоторому увеличению кислотности почвы, поскольку катионы щелочи (NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+), связываемые древесиной растущих деревьев, удаляются из леса и не попадают в почву, что обычно происходит при падении деревьев во время лесных пожаров. Поэтому заготовка лесосечных отходов не рекомендуется на почвах с низкой буферной способностью, т.е. характеризующихся низкой устойчивостью к изменению кислотности. Наиболее низкую буферную способность имеют почвы биотопов с низким содержанием питательных веществ — такие, как участки пустошей, гравийные и песчаные почвы.

В некоторых районах с высокой концентрацией промышленных предприятий, где на поверхность земли выпадает большое количество азота, заготовка лесосечных отходов может оказывать положительное воздействие на баланс питательных веществ в почвах (SVEBIO 1998).

1.4.3 Детоксикация

Многие тяжелые металлы — такие, например, как ртуть (Hg), медь (Cu), кадмий (Cd) — токсичны по отношению к людям и животным. Однако некоторые из этих веществ в очень малых количествах необходимы для обеспечения нормальной жизнедеятельности растений и животных. Все виды топлива содержат тяжелые металлы. Однако, так как содержание тяжелых металлов в древесной биомассе значительно ниже, чем в угле и торфе, этот показатель не относят к числу критических параметров, например, при утилизации древесной золы (SVEBIO 1998).

1.4.4 Занятость и экономика

Использование древесины в качестве источника энергии имеет ряд преимуществ по сравнению с применением импортного топлива. Эти преимущества особенно очевидны в случае заготовок тонкомерной древесины, которые требуют выполнения больших объемов ручных работ. Производство лесозаготовительных работ в сочетании с заготовкой лесосечных отходов является капиталоемким и высокомеханизированным видом деятельности, оказывающим ограниченное воздействие на уровень занятости. Производство древесного топлива (в особенности щепы из тонкомерной древесины) на местном уровне позволит обеспечить (Hake-projekti 1988, Mielikainen et al. 1995):

- ♦ увеличение числа рабочих мест при производстве таких работ, как валка и трелевка деревьев, расщепление, измельчение, транспортировка и сжигание древесины, строительство теплофикационных установок и т.д.;
- ♦ поступление финансовых средств в местную экономику;
- ♦ снижение количества выбросов;
- ♦ повышение качества леса, в особенности молодого древостоя;
- ♦ повышение рекреационной ценности леса;
- ♦ создание образа "зеленого" региона;
- ♦ получение инвестиционных субсидий для строительства теплофикационных установок, работающих на древесном топливе.

С целью оценки воздействия на уровень занятости цепочка производства древесного топлива с применением сельскохозяйственного трактора сравнивалась с использованием мазута (предполагалось, что 70% древесной щепы поступает из местного региона). Воздействие использования мазута на уровень занятости, которое определялось с учетом его транспортировки, является незначительным и даже было округлено до нуля (табл. 1.3).

Таблица 1.3. Пример воздействия работ, связанных с заготовкой и применением различных видов топлива, на уровень занятости, ч/МВт·ч (Hake-projektі 1988).

Воздействие на уровень занятости	Древесная щепа, ч/МВт·ч	Мазут, ч/МВт·ч
Воздействие на местном уровне	0,63	0,00
Воздействие на местном уровне других источников	0,26	0,02
Всего	0,89	0,02

Данные, приведенные в табл. 1.4, иллюстрируют воздействие на уровень занятости в Швеции производства энергии из различных видов биомассы. Следует отметить, что приведенные цифры включают только прямое воздействие производства энергии на занятость и не включают различные косвенные повышающие коэффициенты.

Таблица 1.4. Воздействие на уровень занятости различных видов работ, связанных с производством и использованием биотоплива в Швеции, человеко-лет/ПДж (источник: van den Broek 1999, по данным, приведенным в Nestor 1992, 1996, исправленное издание).

Источник энергии биомассы	Заготовка	Переработка в щепу	Транспортировка вне дороги	Транспортировка по дороге	Использование на энергетической установке	Административная деятельность	Всего
Лесопильные цехи				5	1	2	8
Утилизируемое топливо			5	3	1	4	13
Лесосечные отходы		13	8	5	1	4	32
Отходы предприятий целлюлозно-бумажной промышленности	-6	8	11	15	1	4	34
Ручная заготовка топливной древесины	38	20	5	5	1	4	73
Механическая заготовка топливной древесины	5	15	5	5	1	4	35
Топливая древесина для использования в малых объемах в домашних хозяйствах	38	20	5				63
Ива (<i>Salix sp.</i>), порослевый лес с коротким периодом оборота рубки (ручная заготовка)	15	8	23	25	37	4	113
Ива (<i>Salix sp.</i>), порослевый лес с коротким периодом оборота рубки (механическая заготовка)	9	2	2	6	1	4	25
Канареечник тростниковидный (<i>Baldingera arundinacea</i>)	10	8		6	1	1	26
Солома	4	8		8	1	2	23
Уголь							8

1.4.5 Наличие ресурсов

Основное различие между древесным и ископаемым топливом заключается в том, что древесное топливо является возобновляемым источником энергии, в то время как ископаемые виды топлива, запасы которых ограничены, постепенно истощаются.

Ежегодно в мире потребляется приблизительно 3,2 миллиарда м³ древесины, половина которой перерабатывается на предприятиях лесной промышленности, а вторая половина используется как топливная древесина. Древесина используется для промышленных целей в основном в промышленно развитых странах, а в качестве топливной древесины – в развивающихся странах. Возможно, это является причиной относительно распространенного взгляда на энергию, вырабатываемую из древесины, как на неполноценную энергию, и во многих случаях ее производство считается экономически расточительным. Это утверждение может быть справедливо для стран, в которых ведение лесного хозяйства и использование древесины не осуществляются на устойчивой основе (Nakki et al. 1998).

Теоретический потенциал применения древесного топлива огромен, однако на практике ряд технических, экономических и экологических факторов ограничивают масштабы его использования. Даже в такой стране, как Финляндия с ее высокоразвитым лесным хозяйством и лесной промышленностью, в которой по мировым критериям с использованием древесины и вторичного древесного топлива вырабатывается значительная часть потребляемой первичной энергии (18%), доля используемой топливной древесины все еще остается низкой. В целом в Финляндии имеющиеся лесные ресурсы не ограничивают значительное увеличение потребления энергии, получаемой из древесины. Удивительно высокая доля заготавливаемой в Финляндии ствольной древесины (более 40%) используется для производства энергии. Этот показатель был достигнут за счет использования практически всех видов отходов лесной промышленности (т.е. коры, опилок, жидких отходов сульфатно-целлюлозного производства), которые во многих других странах по-прежнему считаются бесполезными отходами (Nakki et al. 1998).

1.5 РОЛЬ БИОЭНЕРГИИ В ЕВРОПЕ

1.5.1 Использование биоэнергии в Европе

Биомасса является наиболее важным возобновляемым источником энергии в Европе – биоэнергия составляет около 60% от валового объема потребления энергии, вырабатываемой из возобновляемых источников в Европе. Биоэнергия играет важную роль в экономике североевропейских стран. В Финляндии, Швеции и Австрии более 12% потребления составляет биоэнергия и в особенности энергия, получаемая из вторичного древесного топлива (рис. 1.8). В 1996 г. потребление биоэнергии в Европе составило 46,6 Мт условного топлива в пересчете на нефть, при этом потребление биоэнергии, полученной из древесины, составило более 80% (рис. 1.9). 55% биомассы используется в коммунально-бытовом секторе для отопления. Установки систем централизованного теплоснабжения используют около 40% вторичного древесного топлива.

Промышленность биомассы является одной из новых развивающихся отраслей европейской экономики. В соответствии с различными сценариями, разработанными Европейской комиссией, в 2020 г. потребность в биомассе составит 102-229 Мт условного топлива в пересчете на нефть (табл. 1.5). Для программы Европейской комиссии ALTENER был подготовлен документ "Исследование возобновляемой энергии, используемой в Европе" (TERES). Исследование TERES представляет собой первый комплексный обзор сферы производства и потребления возобновляемой энергии в Европе и свидетельствует о том, что доля первичной энергии из возобновляемых источников на энергетическом рынке Европы может составить к 2010 г. от 6 до 13% общего объема потребления первичной энергии в зависимости от политики, которая будет проводиться в этой области (табл. 1.6). В Белой книге ставится цель довести этот показатель к 2010 г. до 12% (182 Мт условного топлива в пересчете на нефть).

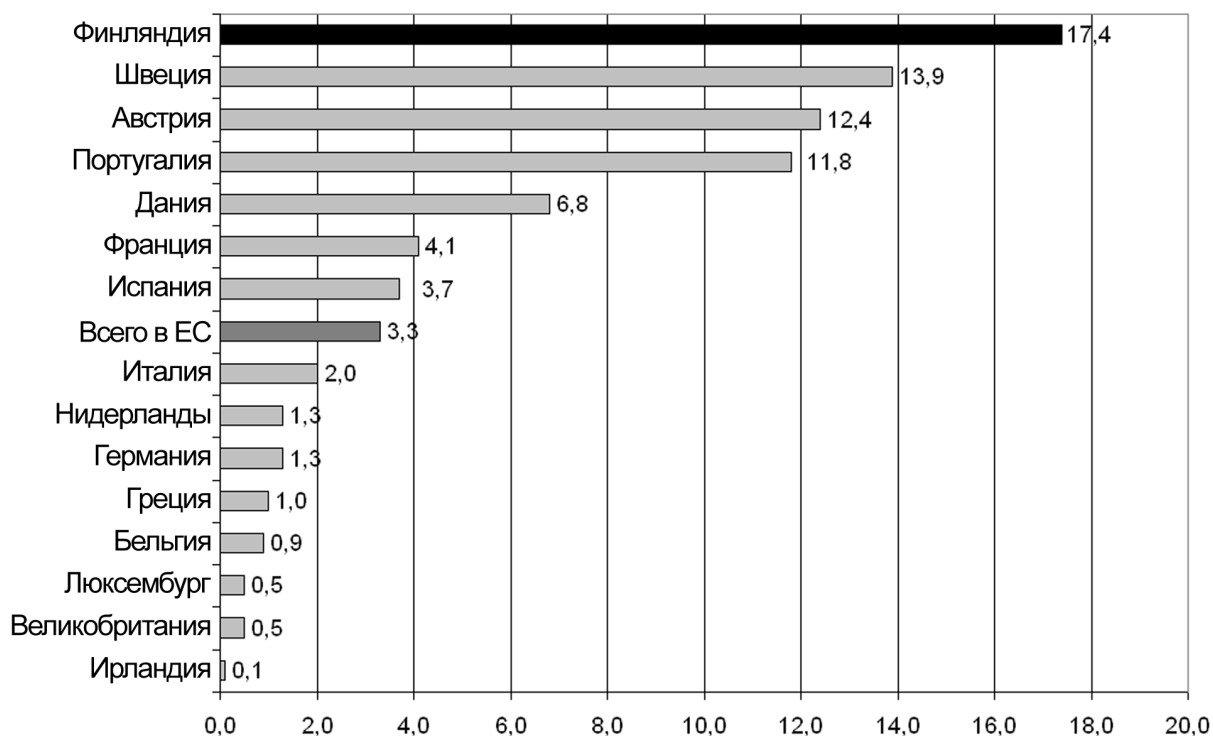


Рис. 1.8. Доля биоэнергии (%) в структуре энергопотребления в 1995 г. в регионе ЕС-15 (источник: Министерство торговли и промышленности).

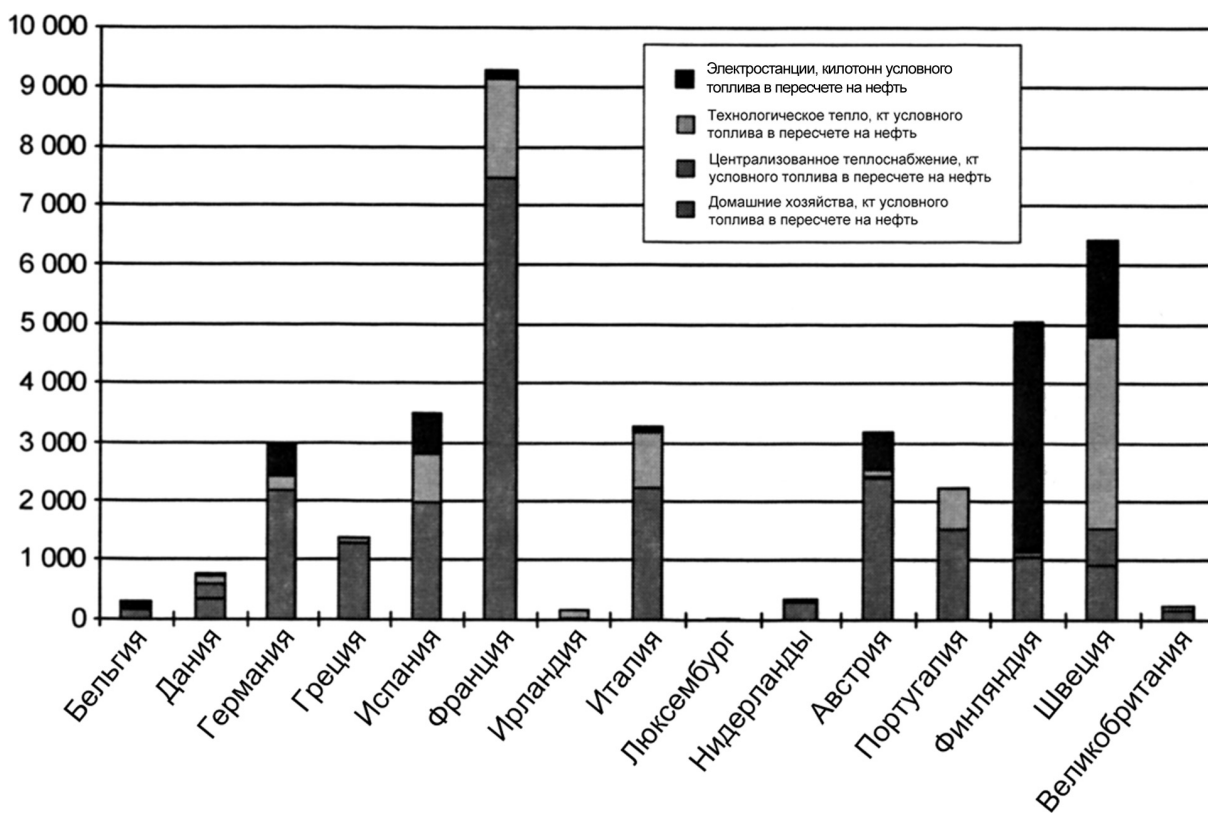


Рис. 1.9. Использование древесного топлива в Европе в 1995 г., кт условного топлива в пересчете на нефть (Евростат).

Таблица 1.5. Использование биомассы в 1995 г. и прогнозные показатели на 2020 г. по различным сценариям, разработанным ЕС, Мт условного топлива в пересчете на нефть (TERES-II, "Энергия в Европе 1996").

Текущее применение или сценарий	Прямое сжигание	Производство электроэнергии	Производство жидкого биотоплива	Общий объем биоэнергии
Текущее применение в 1995 г.	34,4	4,6	0,2	39,2
"Практическая оценка" ¹	40,4	29,2	43,3	112,9
"Поле боя" ²	39,4	27,3	35,4	102,5
"Гипермаркет" ³	41,1	26,4	54,4	121,9
"Форум" ⁴	42,6	47,7	72,1	162,5
"TERES, текущая политика" ⁵	33,5*	58,3**	2,2	110,5
"TERES, промышленная политика" ⁶	56,9*	60,5**	9,8	199,23
"TERES, ЭкстернЕ" ⁷	52,0*	117,0**	3,9	196,9
"TERES, политика наилучшей практики" ⁸	55,6	118,8**	22,5	229,0

* Только древесная биомасса.

** Включает также отходы (газ из органических отходов, коммунально-бытовые, промышленные и сельскохозяйственные отходы).

¹ Сценарий "Практическая оценка" предполагает предсказуемое развитие ситуации, когда "дела идут своим чередом", представляя реалистический подход к оценке событий. Темпы экономического роста постепенно уменьшаются по мере того, как в результате демографических изменений снижаются темпы роста рабочей силы. Хотя и достигается некоторый прогресс, в этом сценарии сохраняются многие структурные, социальные и экономические проблемы современного мира.

² В сценарии "Поле боя" в мире господствуют изоляционизм и протекционизм, действуют различные политико-экономические блоки. Противоречия и отсутствие стабильности чрезвычайно затрудняют экономическую интеграцию. Глобализация считается чрезмерно амбициозной целью. Геополитическая система раскалывается на блоки, между которыми и внутри которых имеются острые разногласия и противоречия.

³ В сценарии "Гипермаркет" преобладают рыночные силы, либерализм и свободная торговля; вмешательство в экономику правительства и государственных служащих сведено к минимуму. Глобальная экономическая интеграция устойчиво развивается как естественный процесс. Движущей силой этого сценария является рыночный механизм, который рассматривается как эффективный инструмент производства богатства и регулирования сложных и неопределенных экономических отношений. Либерализация и приватизация приносят положительные результаты и способствуют приходу на рынок новых участников, стремящихся использовать предоставляемые им преимущества.

⁴ "Форум". В этом сценарии мир движется к взаимному согласию, формируя общие международные структуры, играющие значительную роль в государственном управлении и регулировании. Процесс глобальной интеграции ставит новые задачи, решение которых требует коллективных усилий различных государств. Осуществляется перестройка национальных, европейских и других международных институтов с тем, чтобы они могли эффективно решать более широкие и сложные проблемы с учетом общих интересов.

Четыре сценария развития TERES включают (TERES II):

⁵ "Текущая политика" — продолжение проведения текущей политики страны. Предполагается, что субсидии в рамках ОСП (общей сельскохозяйственной политики) начнут предоставляться до 2005 г.

⁶ "Промышленная политика", предложенная группами, осуществляющими торговлю энергией из возобновляемых источников, реализуется на европейском уровне с учетом используемых ими технологий.

⁷ Сценарий "TERES, ЭкстернЕ" с интернационализацией издержек предусматривает выполнение оценки внешних издержек, размер которых определяется в рамках проекта ЕС "ЭкстернЕ" и устанавливается равным величине налога на производимую и потребляемую энергию для каждого источника энергии. Таким образом, потребитель оплачивает внешние издержки, связанные с загрязнением окружающей среды.

⁸ В сценарии "Политика наилучшей практики" методы наилучшей практики, применяемые в отдельных странах, внедряются во всех странах. Этот сценарий включает интернационализацию внешних издержек, поддержку рыночного развития и реализацию программ ТИР (развития технологий, исследований и разработок) и направлен на достижение целевых показателей, указанных в табл. 1.6.

Таблица 1.6. Целевые показатели реализации программы развития технологий, исследований и разработок по отдельным технологиям TERES.

Технология	Целевой показатель
Солнечная энергетика (тепловая, электрическая энергия)	1250 Евро/кВт·ч к 2020 г.
Фотоэлектрическая энергетика	800 Евро/кВт·ч к 2020 г.
Твердая биомасса	КПД при преобразовании: 40%; капитальные издержки равны капитальным издержкам, связанным с использованием ископаемого топлива; стоимость топливной биомассы: 7,5 Евро/кВт·ч к 2020 г.
Жидкая биомасса	0,20 Евро/кВт·ч (0,02 Евро/кВт·ч) к 2020 г.

В настоящее время страны Центральной и Восточной Европы (ЦВЕ) находятся в сильной зависимости от ископаемого топлива, большая часть которого импортируется. Яаскелайнен и Алакангас (Jaaskelainen and Alkangas 1999) выполнили исследование методов и потенциала использования биомассы, в особенности в централизованных системах теплоснабжения, в Эстонии, Латвии, Литве, Польше, Карельской Республике (Российская Федерация), а также общий обзор ситуации с применением биомассы в Чешской Республике, Словакии, Словении и Румынии. Исследование посвящено изучению методов и потенциала использования древесины, торфа и соломы.

Древесина используется в основном в домашних хозяйствах в сельской местности для отопления и котельными установками для выработки тепла. Твердая древесина не используется в производстве электроэнергии. Данные Яаскелайнена и Алакангаса (Jaaskelainen and Alkangas 1999) свидетельствуют о том, что во всех странах, включенных в исследование, использование древесного топлива может быть увеличено за счет:

- ♦ увеличения использования лесосечных отходов и производственных отходов деревообрабатывающих предприятий;
- ♦ увеличения объемов валки леса, осуществляемого на уровне, близком к максимально допустимому, но обеспечивающем устойчивое воспроизводство, позволяющее также увеличить количество топливной древесины;
- ♦ развития методов лесного хозяйства с коротким периодом оборота рубки;
- ♦ использования, в особенности в Эстонии, потенциала, который составляют менее ценные породы деревьев — такие, как ольха белая (*Alnus incana*), кустарники, береза карликовая (*Betula nana*), а также лесов на торфяниках.

В Северной Европе имеются огромные запасы топливного торфа, используемые в настоящее время недостаточно полно и эффективно. В странах, включенных в исследование, почти не используется солома, хотя в сельскохозяйственном секторе, особенно в Польше, производят тысячи или даже миллионы тонн избыточной соломы, которая может использоваться для производства энергии.

Примечательно, что отношение валового потребления первичной энергии (ВВПЭ) на душу населения к валовому внутреннему продукту (ВВП) в 4-7 раз выше в странах, включенных в исследование, чем в среднем в странах Европы, что свидетельствует о низкой эффективности энергетических отраслей в странах, включенных в исследование, которые не способны в полной мере использовать имеющийся потенциал. В случае стран Балтии и Карелии эта низкая эффективность унаследована, по-видимому, от советского периода, когда в избытке имелись топливные ресурсы и сохранялись низкие цены на топливо. В настоящее время эти страны продолжают использовать устаревшие и низкоэффективные методы производства энергии. Они обладают огромным потенциалом повышения эффективности энергетического сектора. Широко используемые системы централизованного теплоснабжения и котельные установки находятся в неудовлетворительном состоянии. Таким образом, существует острая потребность в модернизации и обновлении этих объектов, в

особенности котлов на угле или мазуте мощностью до 5 МВт, которые позволят перевести их на использование топливной биомассы (Jaaskelainen and Alakangas 1999).

Замещение ископаемых видов топлива биомассой снижает уровень вредных выбросов при производстве энергии и оказывает позитивное воздействие на уровень занятости местного населения. Необходимым условием увеличения использования биомассы в странах ЦВЕ является построение полного производственно-сбытового цикла – от производства и распределения топлива до производства и распределения энергии. Основным препятствием для более широкого использования биомассы является отсутствие средств, необходимых для финансирования проектов по использованию биомассы в странах, включенных в исследование.

1.5.2 Потенциал ресурсов и использование древесного топлива в Европе

1.5.2.1 Лесные ресурсы в Европе

С вступлением в Европейский Союз Финляндии, Швеции и Австрии лесные ресурсы и объемы производства целлюлозы, бумаги и других изделий из древесины увеличились в регионе ЕС более чем вдвое. Все более возрастает значение для общества лесохозяйственного сектора (лесохозяйственного комплекса). Использование лесов как возобновляемых источников энергии и древесины как регенируемого сырьевого материала позволяет эффективно решить ряд проблем настоящего и будущего, например сохранения за лесами важной функции стока углерода.

Под лесохозяйственным комплексом мы понимаем совокупность лесохозяйственных технологий, научно-исследовательских учреждений, предприятий по переработке древесины (механическая обработка и химическая переработка древесины), изготовление машин и оборудования, химикатов для лесного хозяйства, систем автоматизации, упаковочных материалов, полиграфической продукции, производство энергии, планирование и обеспечение материально-технического снабжения (логистика), оказание консультационных услуг (рис. 1.10).



Рис. 1.10. Лесохозяйственный комплекс (Федерация лесохозяйственных предприятий Финляндии, 1999).

Данные, приведенные на рис. 1.11, 1.12 и 1.13, дают общее представление об объемах лесных ресурсов (пригодных для коммерческой рубки) и их использовании в странах Европейского Союза. Как можно видеть из данных, представленных на рис. 1.13, использование лесных ресурсов в Европе осуществляется на устойчивой основе с ежегодным потреблением, составляющим приблизительно 70% прироста лесного фонда.

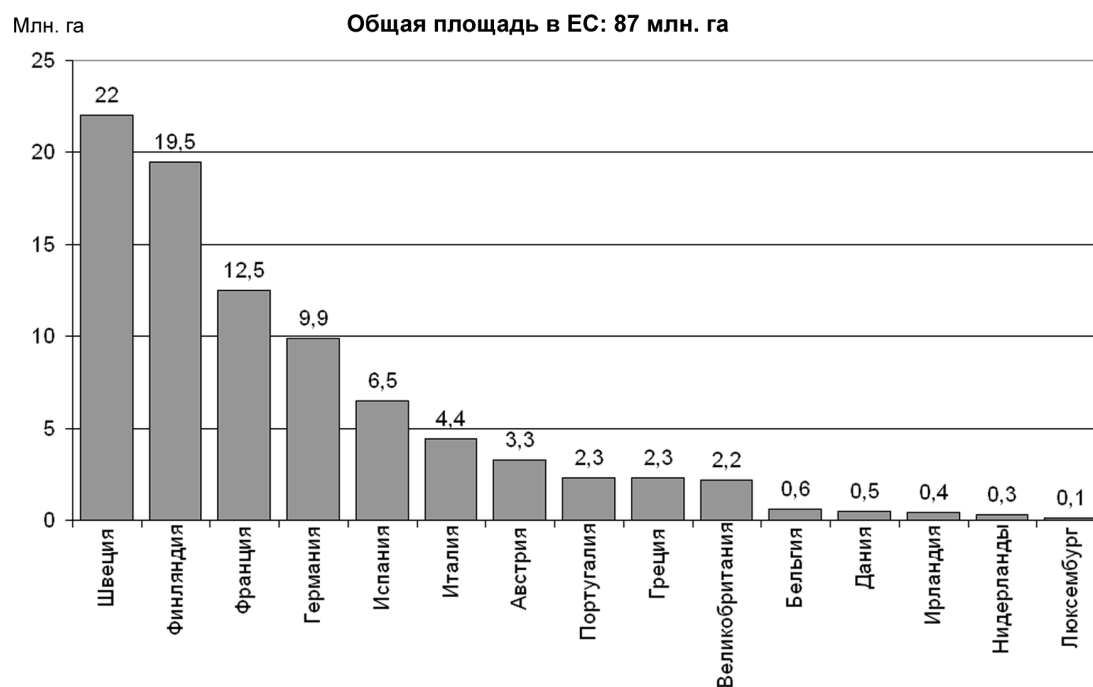


Рис.1.11. Лесной фонд стран ЕС, пригодный для коммерческого использования (источники: ООН-ЕЭК/ФАО и Федерация лесохозяйственных предприятий Финляндии).

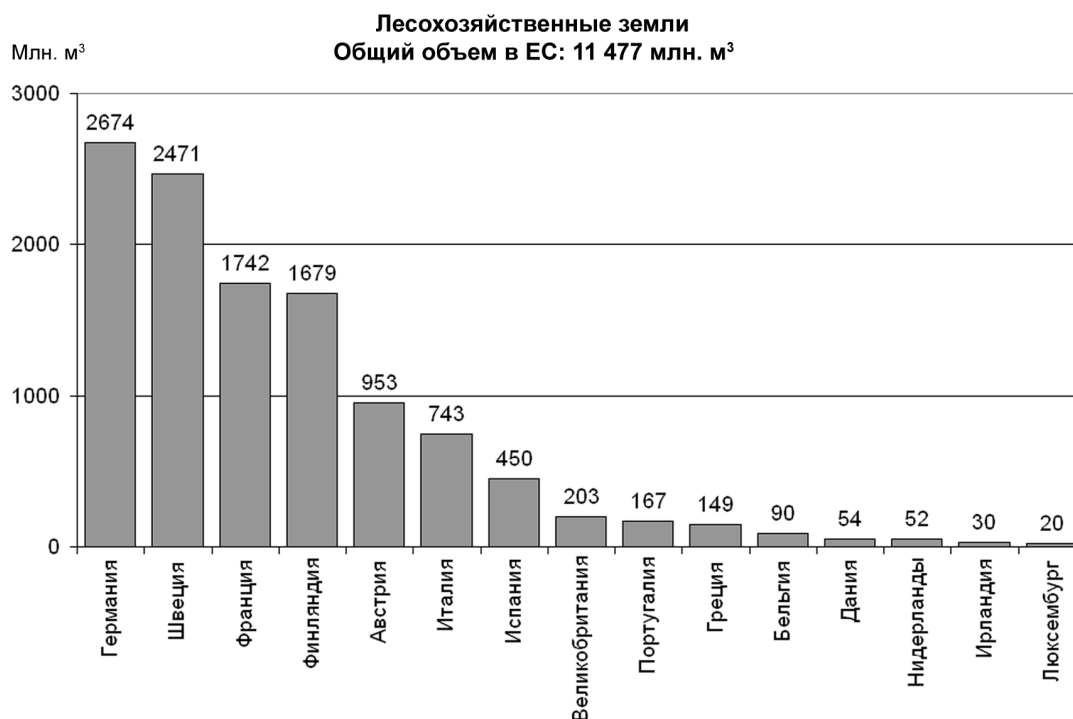


Рис. 1.12. Объем порослевого леса в лесах, пригодных для коммерческого использования в странах ЕС (источники: ООН-ЕЭК/ФАО и Федерация лесохозяйственных предприятий Финляндии).

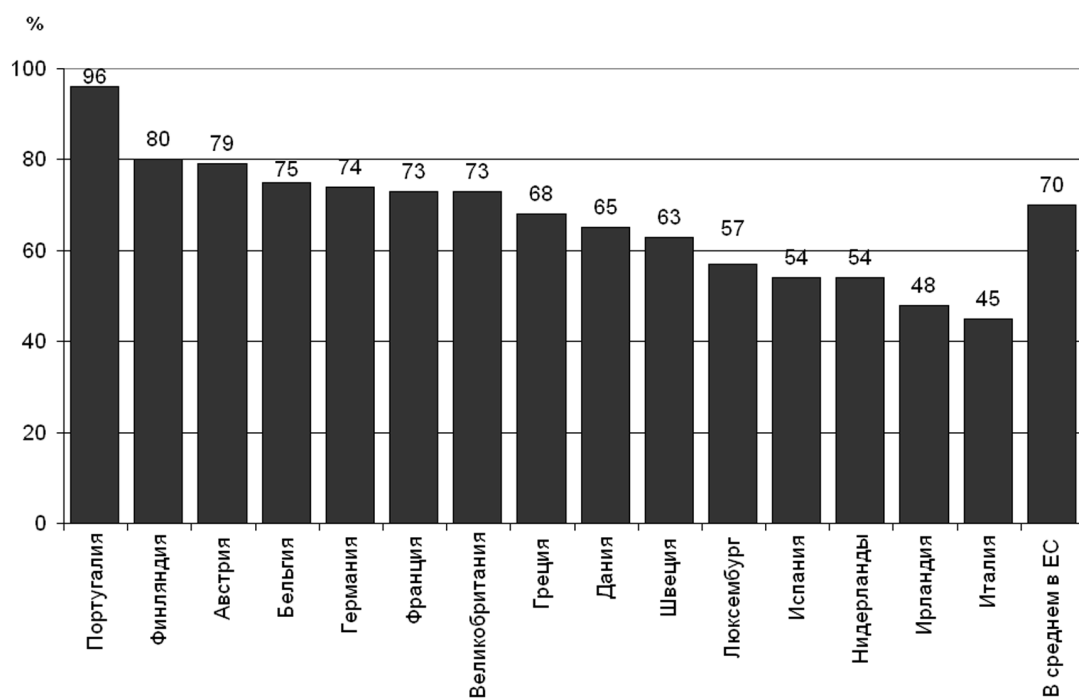


Рис. 1.13. Отношение объема заготовок круглого леса (%) к объему годового прироста лесного фонда в странах ЕС в 1990 г. (источники: ООН-ЕЭК/ФАО и Федерация лесохозяйственных предприятий Финляндии).

Таблица 1.7 содержит подробные данные о площадях лесохозяйственных земель, объемах рубок и объемах используемой древесины в Европе. В вышеприведенных данных имеется ряд несоответствий, являющихся результатом различий в расчетах, которые производились, например, с учетом лесных угодий, в которых ограничиваются заготовки леса – таких, как охраняемые земли и заповедники, земли, предназначенные для рекреационных целей, и технических земель в лесных хозяйствах.

Таблица 1.7. Лесные ресурсы Европы (источник: ФАО 1998).

Европа	Население, млн. чел.	Площадь территории, тыс. га	Общая площадь лесов и других лесистых участков, тыс. га	Объем растущего древостоя, млн. м ³ с корой	Площадь лесохозяйственных земель, тыс. га	Из них: непромышленного назначения, в частной собственности, %	Запасы леса, пригодного для поставок, млн. м ³	Объем растущего древостоя, млн. м ³ с корой	Чистый годовой прирост, млн. м ³ с корой	Валка, млн. м ³ с корой	Топливная древесина и уголь, 1000 м ³ с корой
В среднем в ЕС	374,3	311851	136204	15163,9	113567	70	95525	13420,1	459,5	299,5	36847
Австрия	8,1	8252	3924	1107,3	3840	83	3352	1037,3	27,3	19,5	5288
Бельгия	10,1	3030	672	141	646	57	639	139,8	5,1	4,4	500
Дания	5,3	4239	539	60,2	445	69	440	54	3,2	2,2	491
Финляндия	5,2	30454	22768	1963	21883	71	20675	1867	72,5	54,3	4094
Франция	58,7	54148	16989	2977	15156	74	14470	2835,7	92,3	60,2	10466
Германия	82,1	34613	10740	2880	10740	46	10142	2820	89	48,6	2719
Греция	10,6	13076	6513	154,5	3359	23	3094	139,8	3,5		3423
Ирландия	3,7	6890	591	44	591	34	580	43	3,5	2,3	
Италия	57,4	29412	10842	1518,6	9857	66	6013	876,7	18,7	8,7	262
Люксембург	0,4	258	89	20,4	86	53	86	20,4	0,7		1350
Нидерланды	15,7	3388	339	64,7	339	49	314	52,1	2,2	1,4	131
Португалия	9,9	9105	3467	292	3383	93	1897	188	12,9	11,2	648
Испания	39,6	50055	25984	594,4	13509	69	10479	486,8	28,6	11	3588
Швеция	8,9	40843	30259	2993,6	27264	83	21236	2566,5	85,4	66,1	3824
Великобритания	58,6	24088	2489	353	2469	57	2108	14,6	9,5		63

1.5.2.2 Роль энергии из древесины в Европе

Как показано на рис. 1.9, крупнейшим потребителем энергии из древесины (в абсолютных цифрах) в Европейском Союзе является Франция, за которой следуют Швеция и Финляндия. На долю энергии из древесины приходится около 3% валового потребления первичной энергии в 15 странах ЕС; в Швеции и Финляндии этот показатель еще выше – 16%. В группе стран ОЭСР (за исключением европейских) крупнейшим потребителем энергии, получаемой из древесины, являются США, в которых оно в два раза превышает общее потребление энергии из древесины в 15 странах ЕС. Турция является наиболее крупным потребителем энергии из древесины в группе европейских стран, не являющихся членами ЕС, однако за период с 1980 г. потребление этого вида энергии значительно снизилось из-за уменьшения объемов традиционного использования древесины в сельских районах в связи с ускорением экономического развития и использованием других источников энергии в сельской местности (van den Broek 1997).

Несмотря на то, что лесохозяйственный комплекс занимает важное место в экономике Европы, часто бывает весьма трудно получить детальную современную информацию об использовании древесного топлива в Европе. Во многих статистических отчетах древесное топливо "скрывается" за понятием биомассы, при этом в различных странах используют топливную биомассу с различными содержанием и структурой.

В большинстве стран ЕС, за исключением Швеции и Финляндии, энергия, получаемая из древесины, в основном потребляется в домашнем хозяйстве. В современной структуре различные методы потребления энергии из древесины могут оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие на окружающую среду. Основным положительным фактором является нейтральное воздействие при получении энергии из древесины CO_2 при условии, если темпы лесозаготовок равны темпам лесовозобновления или ниже их. Негативное воздействие часто оказывают маломощные установки для сжигания древесины и использование древесного топлива в домашних хозяйствах, когда выбросы угарного газа (СО) и полициклоароматического углеводорода (РАС) могут вызывать серьезные проблемы. Все еще имеются значительные возможности для развития методов использования энергии из древесины и превращения ее в действительно устойчивый источник энергии, в том числе и в Европе (van den Broek 1997).

Производство энергии является одной из основных функций лесохозяйственного комплекса. В настоящее время в 15 странах ЕС 50% древесины, изымаемой из лесов, в конечном счете используется для получения энергии. Исключением является Франция, где чрезвычайно высокий процент (80%) заготавливаемой древесины идет на производство энергии. Также во Франции 70% валового объема потребляемой энергии получают путем прямого сжигания первичного древесного топлива, что совпадает с большой долей домашних хозяйств, потребляющих энергию из древесного топлива. В целом в 15 странах ЕС почти 60% энергии из древесины вырабатывается с использованием вторичного древесного топлива или топлива, получаемого при переработке древесины, такого, например, как черный щелок. В странах с крупными лесной промышленностью и целлюлозно-бумажным производством, таких как Финляндия и Швеция, доля вторичного древесного топлива и черного щелока значительно выше (van den Broek 1997).

Лесное хозяйство и лесная промышленность также потребляют значительное количество энергии. Например, в Финляндии в 1977 г. потребление энергии промышленностью лесного комплекса составило около 62% потребления энергии всем промышленным сектором, что превышает одну треть общего потребления энергии в стране. Однако большая часть потребности промышленности в энергии удовлетворяется за счет использования возобновляемых источников энергии, таких как древесина. В настоящее время приблизительно 70% топлива, используемого на предприятиях лесного комплекса Финляндии, составляют древесина или вторичное древесное топливо. По сравнению с 1970 г. снизилось использование угля и особенно нефти и увеличилась доля природного газа и торфа (рис. 1.14).

1.5.2.3 Производство в лесной промышленности Европы

Европейский лесохозяйственный комплекс с объемом производства, превышающим 375 млрд. евро, и численностью персонала более 5 млн. человек занимает важное место в экономике Европы. В настоящей главе приводятся данные об объемах производства различных отраслей лесной промышленности. Как указывалось ранее, объем потребления энергии из древесины в значительной степени зависит от текущих и будущих тенденций развития лесной промышленности. Показатели объемов производства пиломатериалов, древесной целлюлозы, бумаги и фанеры в странах Западной Европы приведены на рис. 1.15, 1.16 и 1.17.

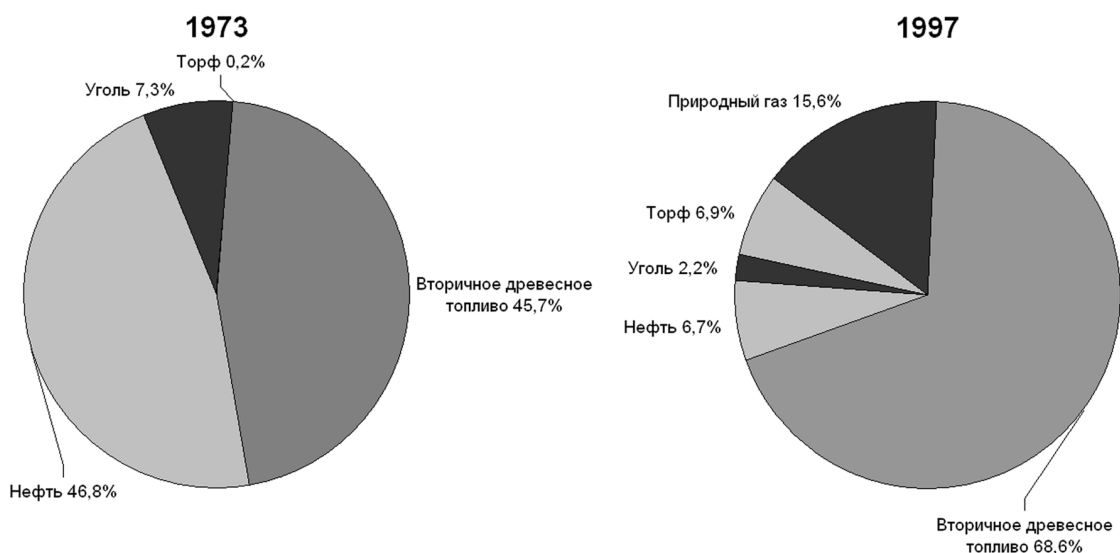


Рис.1.14. Основные виды топлива, используемые в лесной промышленности Финляндии (Федерация лесохозяйственных предприятий Финляндии, 1999).



Рис. 1.15. Производство пиломатериалов из мягких сортов древесины в странах Европейского Союза в 1997 г. (Федерация лесохозяйственных предприятий Финляндии, 1999).

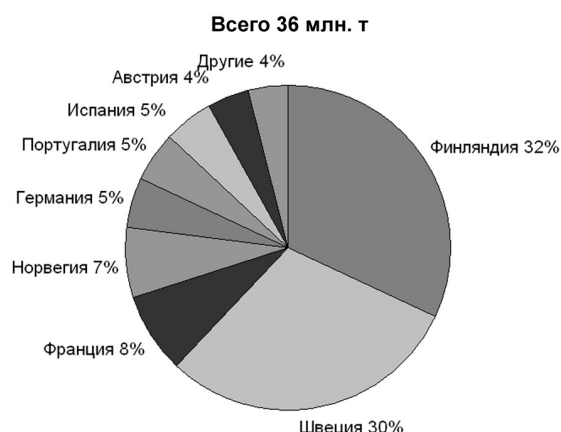


Рис. 1.16. Производство древесной целлюлозы в странах Западной Европы в 1998 г. (Федерация лесохозяйственных предприятий Финляндии, 1999).

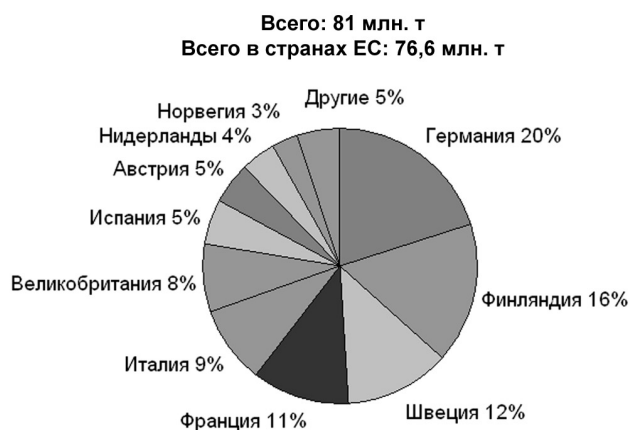


Рис. 1.17. Производство бумаги и бумажного картона в странах Западной Европы в 1998 г. (Федерация лесохозяйственных предприятий Финляндии, 1999).

Использование древесины
в Финляндии
в 1996 г., млн. м³

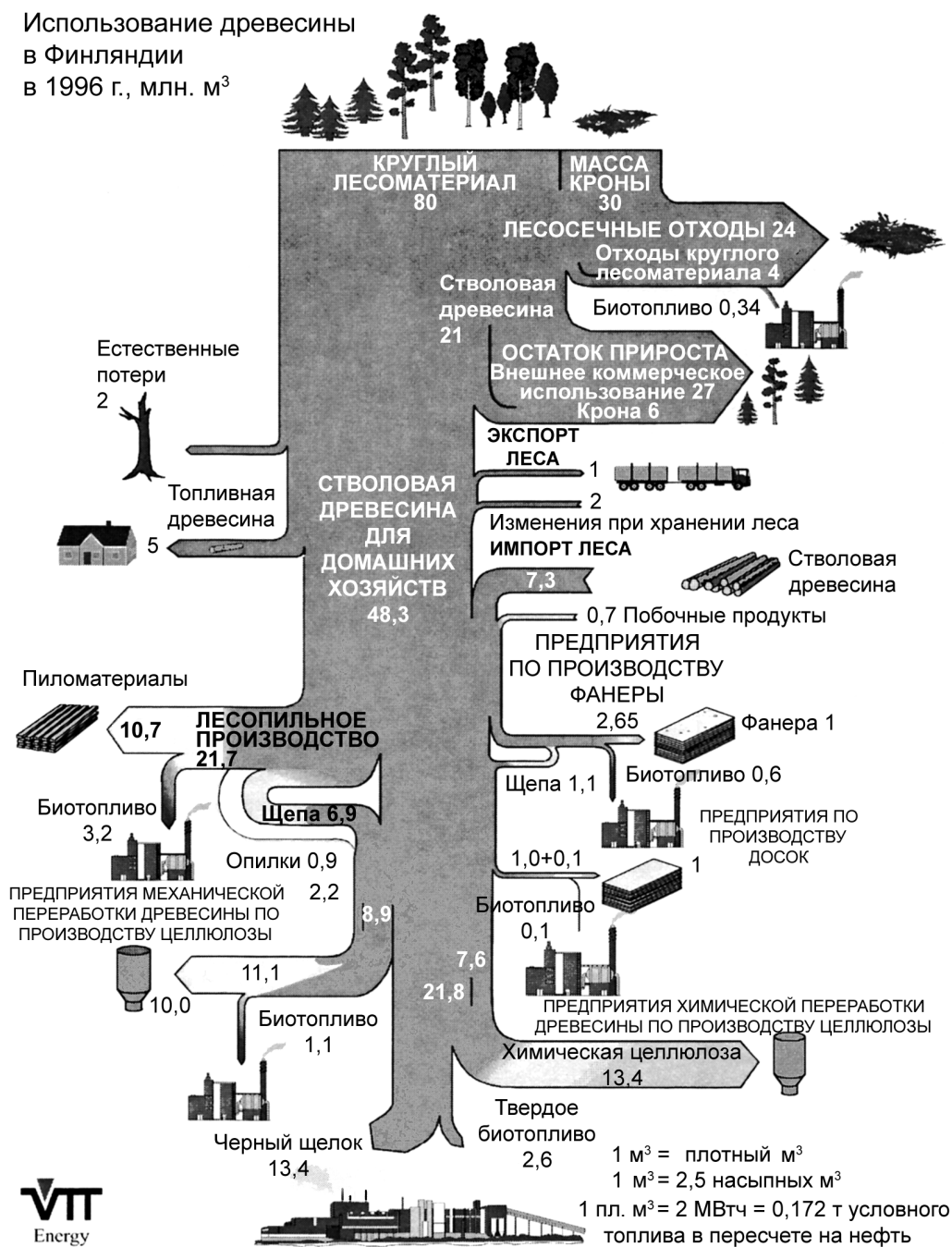


Рис.1.18. Ресурсы топливной биомассы и их использование в Финляндии в 1990-е гг. (VTT Energy).

На рис. 1.18. приведены данные об объемах ресурсов и использовании древесной биомассы в 1990-е гг. Из приведенных данных можно видеть, что в настоящее время все еще имеется значительное количество топливной древесины. Однако некоторые технические факторы ограничивают реальный потенциал ее использования.

2. ТОПЛИВНЫЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ

2.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Топливные свойства древесины определяются рядом характеристик — таких, как теплотворная способность (теплота сгорания), химический состав: например, содержание таких элементов, как хлор (Cl), углерод (C), водород (H), азот (N), водород (H) и сера (S), влажность, твердость, количество летучих веществ, количество твердого углерода, содержание и состав золы, характеристики плавления золы, характеристики ошлакования золы, количество загрязняющих веществ, пыли, спор грибов. Топливную древесную щепу часто производят из различных пород деревьев с различным соотношением стволовой древесины, коры, ливствы, ветвей, почек и даже шишек, содержание которых изменяет свойства топлива (Nurmi 1992, Hakila et al. 1998).

Основными компонентами клеток древесины являются целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнин, которые составляют 99% массы древесного материала. Целлюлозу и гемицеллюлозу образуют длинные цепи углеводов (таких как глюкоза), лигнин же является осложненным компонентом полимерных фенольных смол. Лигнин тесно связан с гемицеллюлозой, так как он действует как склеивающий агент, склеивая пучки цепей целлюлозы и растительные ткани. Таким образом лигнин придает растению механическую прочность. Он богат углеродом и водородом, которые являются основными элементами производства теплоты. Поэтому лигнин обладает более высокой теплотворной способностью по сравнению с углеводородами. Древесина и кора также содержат так называемые экстрактивные вещества — такие, как терпены, жиры и фенолы. Многие из них растворимы в органических растворителях (гексане, ацетоне, этаноле) и горячей воде. Древесина содержит относительно малое количество экстрактивных веществ по сравнению с количеством экстрактивных веществ, содержащихся в коре и ливстве (Nurmi 1992, Uusvaara 1994).

Приблизительно половина массы свежесрубленного дерева состоит из воды. Вторая половина представляет собой сухое древесное вещество, содержащее 85% летучих веществ, 14,5% твердого углерода и 0,5% золы (рис. 2.1). В безводной древесине общее содержание углеродного компонента составляет приблизительно 50%. При сжигании древесины составляющие ее компоненты превращаются в водяной пар (H_2O), двуокись углерода (CO_2), окислы азота (NO_x), окись серы (SO_2) и золу. Древесина практически не содержит серы; максимальное содержание серы в древесине составляет 0,05% (Pohjonen 1994).

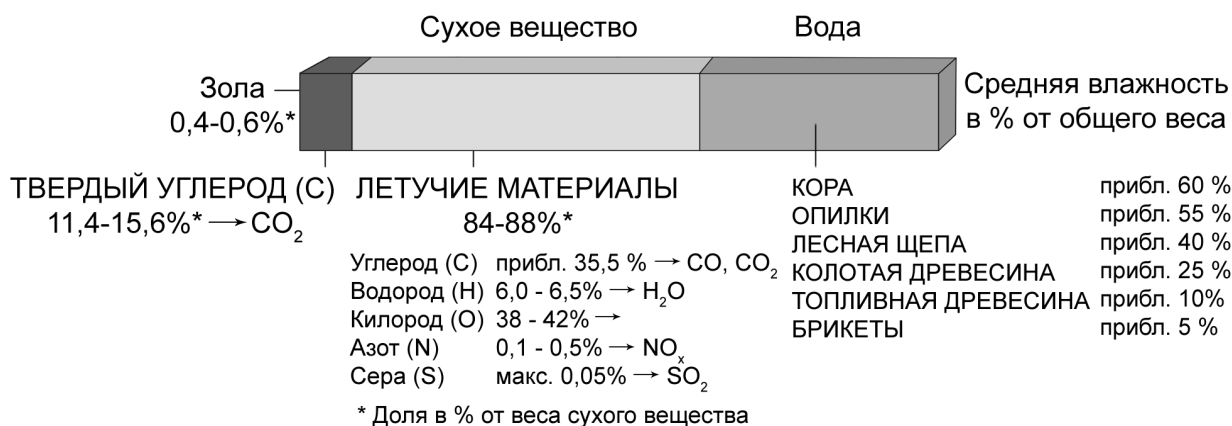


Рис. 2.1. Среднее содержание химических веществ в древесных видах топлива (источник: VTT Energy).

Различные породы деревьев имеют различное содержание азота, которое составляет в среднем 0,75%. Например, щепа, полученная из так называемой азотфиксирующей древесины таких деревьев, как ольха (*Ainus sp.*), содержит более чем в два раза больше азота, чем щепа, полученная из древесины хвойных пород — таких, как сосна (*Pinus sp.*) и ель (*Picea sp.*). Древесная кора также содержит больше азота, чем древесный материал (Pohjonen 1994).

Теплотворные характеристики различных типов топлива зависят от соотношения содержащихся в них элементов. Углерод и водород увеличивают теплоту сгорания, в то время как высокое содержание кислорода в древесине ее уменьшает. По сравнению с другими видами топлива древесина имеет довольно низкое содержание углерода (около 50% сухого веса) и высокое содержание

кислорода (около 40%) и, следовательно, довольно низкую теплоту сгорания на единицу сухого веса. Сухие древесина и кора также характеризуются очень низким уровнем зольности при сгорании; так, один плотный кубический метр древесного топлива дает только 3-5 кг чистой золы. Однако на практике зола часто содержит некоторое количество песка и продуктов неполного сгорания углерода (Pohjonen 1994).

Горючую часть твердого топлива можно разделить на две группы: летучие вещества и такие горючие компоненты, как твердый углерод. Обычно древесина имеет высокое содержание летучих веществ и низкое содержание твердого углерода. Восемьдесят процентов энергии древесина генерирует за счет сгорания летучих веществ и двадцать процентов — в результате сгорания твердого углерода (раскаленные угли). Так как из-за большого количества летучих веществ, содержащихся в древесине, при ее горении образуются высокие языки пламени, для сгорания топлива требуется значительное пространство. Древесная кора и торф имеют аналогичные характеристики горения. По сравнению с древесиной торф содержит меньшее количество летучих веществ, но образует больше золы (Pohjonen 1994).

2.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВЕСИНЫ

В этом разделе дается описание некоторых терминов и методов анализа различных характеристик древесного топлива.

2.2.1 Технический анализ

Так называемый технический анализ проводится с целью определения таких характеристик, как содержание твердого углерода, летучих веществ и влажности, определяемых следующим образом:

Зола:

Зольность выражается в весовых % от сухой основы (со) и от веса материала при получении (мп). Различные типы зольности соотносятся через содержание влаги:

$$\text{Зольность (вес.\% со)} = \text{зольность (вес.\% мп)} * 100 / (100 - \text{влажность (вес.\%)})$$

Влажность

Влажность в весовых % от влажной основы (при получении материала). Следует учитывать, что возможно значительное различие во влажности материала во время получения и во время анализа материала. Также содержание влаги может понизиться в процессе естественного высыхания во время хранения.

Летучие вещества и фиксированный углерод

Количество летучих веществ определяется с применением стандартных методов. И выражается в весовых % от веса сухого материала, материала при получении (мп) или сухого и беззольного материала (сбзм). Определение содержания фиксированного (твердого) углерода как оставшейся части производится по следующим формулам:

сухой материал	фиксированный C = 100 — зола (сухой материал) летучие вещества (сухой материал)
сбзм	фиксированный C = 100 — летучие вещества (сбзм)
мп	фиксированный C = 100 — зола (мп) — содержание воды — летучие вещества (мп)

2.2.2 Элементарный анализ

При проведении элементарного анализа доля различных элементов сухого материала определяется следующим образом: содержание углерода (С), водорода (Н), кислорода (О), азота (N), серы (S), хлора (Cl), фтора (F) и брома (Br) в весовых % от сухого материала (вес.% от сухого материала), сухого и беззольного материала (вес.% от сбзм) и материала при получении (вес.% от мп).

сухой материал	$C + H + O + N + S + Cl + F + Br + \text{зола} = 100$
сбзм	$C + H + O + N + S + Cl + F + Br = 100$
мп	$C + H + O + N + S + Cl + F + Br + \text{зола} + \text{содержание воды} = 100$

Во многих случаях содержание водорода не измеряется, а определяется расчетом как разность между 100 и значениями измеренных компонентов. При измерении содержания кислорода общая сумма может превысить 100% из-за экспериментальных ошибок, которые могут иметь место в процессе анализа. Для каждого компонента указывается, было ли его содержание определено измерением или расчетом.

2.2.3 Теплотворная способность (кДж/кг)

Теплотворная способность определяется высшей теплотой сгорания (ВТС) или низшей теплотой сгорания (НТС). Величина низшей или высшей теплоты сгорания может определяться на единицу сухого топлива (как правило, кг или м³) или на единицу топлива с учетом влажности. Кроме влаги, содержащейся в топливе, влага также образуется при сгорании водорода. Уровень влажности определяет различие между высокой и низкой теплотой сгорания. При определении значения ВТС допускают, что влага конденсируется в воду, а при вычислении значения НТС предполагается, что влага находится в виде насыщенного пара.

ВТС	высшая теплота сгорания теплотворная способность
НТС	теплота, выделяемая при горении низшая теплота сгорания эффективная теплота сгорания

Значение калориметрической теплоты сгорания используется, если после сгорания материала оставшаяся вода находится в жидком состоянии.

Значение эффективной теплоты сгорания, H_1 , используется, если после сгорания материала оставшаяся вода находится в парообразном состоянии. Как правило, применяется это значение теплоты сгорания, так как в технических процессах горения отработанный газ редко охлаждается до температуры, при которой пар конденсируется в воду.

Теплота сгорания обычно выражается в единицах МДж/кг или кДж/кг (табл. 2.2.3).

Таблица 2.2.3. Значения теплоты сгорания отдельных видов топлива.

Топливо	H_1 (МДж/кг)
Древесина (сухая)	18,5-21,0
Торф (сухой)	20,0-21,0
Углерод	23,3-24,9
Нефть	40,0-42,3

Расчет с целью определения теплотворной способности обычно дает значение ВТС. Расчет с целью определения ВТС или НТС может выполняться следующим образом с использованием значений зольности, доли влаги в материале и доли водорода (по данным элементарного анализа): w = доля влаги (при получении материала); a = доля золы (сухой материал); H = массовая доля водорода в пробе (сухой материал).

$$\begin{aligned} \text{ВТС}_{\text{мп}} &= \text{ВТС}_{\text{сбзм}} \cdot (1-w) \\ \text{ВТС}_{\text{сух}} &= \text{ВТС}_{\text{сбзм}} \cdot (1-a) \\ \text{НТС}_{\text{сух}} &= \text{ВТС}_{\text{сух}} - 2,442 \cdot 8,396 \cdot [H] \\ \text{НТС}_{\text{мп}} &= \text{НТС}_{\text{сух}} \cdot (1-w) - 2,442 \cdot w \\ \text{НТС}_{\text{мп}} &= \text{ВТС}_{\text{мп}} - 2,442 \cdot \{8,396 \cdot [H] \cdot (1-w) + w\} \end{aligned}$$

2.2.4 Состав золы (вес.% золы)

Имеется большое количество данных о составе золы. В основном эти данные выражены в весовых % окислов. Отдельные окислы не представляют действительную химическую форму компонентов. Содержание свинца (Pb), кадмия (Cd), меди (Cu), ртути (Hg), марганца (Mn) и хрома (Cr) выражается в мг/кг золы.

2.2.5 Анализ биомассы (мг/кг сухого материала)

Содержание металла в золе выражается в мг/кг сухого (первоначального) материала. Для каждого элемента указывается, было ли измерено его содержание или измеряемое значение находилось ниже предела обнаружения.

2.2.6 Биохимический состав (вес.%)

Биохимический состав материалов выражается в весовых % от сухого материала (целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин, жиры, протеины).

2.3 СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

В этом разделе описываются наиболее важные характеристики топлива:

- ♦ Влажность.
- ♦ Плотность.
- ♦ Теплота сгорания.
- ♦ Гранулометрический состав частиц.
- ♦ Содержание и характеристики золы.
- ♦ Химический состав.
- ♦ Количество летучих веществ.
- ♦ Результаты технического и элементарного анализов.

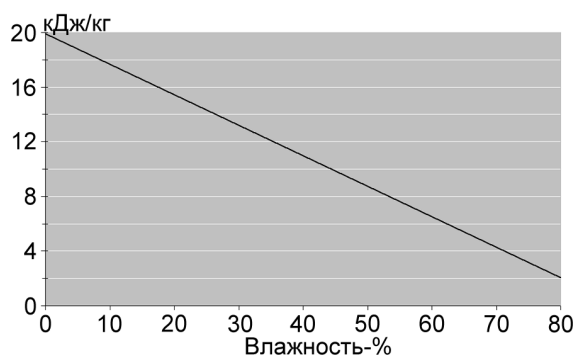


Рис. 2.2. Воздействие влажности на величину теплоты сгорания древесины.

Таким образом, очевидно, что выделение энергии на м³ древесины возрастает с увеличением содержания сухого вещества в м³ древесины и уменьшением уровня влажности. Содержание сухого вещества в щепе колеблется в значительных пределах в зависимости от удельной плотности и содержания твердого вещества щепы. Удельная плотность (кг/м³) обозначает отношение сухой массы к объему твердого материала, т.е. определяет вес сухой древесины на единицу объема твердого материала.

Содержание плотного объема щепы обозначает отношение масс единиц так называемого общего объема материала и объема твердого материала, т.е. определяет, сколько твердых (плотных) м³ содержится в одном м³ общего объема. Содержание плотного объема щепы определяется главным обра-

Основное внимание уделяется характеристикам древесной щепы.

Влажность оказывает значительное воздействие на величину нижней теплоты сгорания, так как испарение воды требует затрат энергии. Например, влажность свежего древесного топлива составляет от 50 до 60% веса общей массы щепы. В основном влажность древесного топлива составляет обычно от 20 до 65% и зависит от ряда условий, включая климатические условия, время года, породу дерева, используемую часть ствола и срок хранения. Степень воздействия влажности на величину теплоты сгорания показана на рис. 2.2.

зом техническими характеристиками рубительной машины — такими, как гранулометрический состав частиц, мощности выдувного потока и метода погрузки. Однако время сушки и степень уплотнения, которое происходит при транспортировании на большие расстояния, не оказывают значительного воздействия на содержание плотного объема. Определение содержания плотного объема (части плотного объема) требуется для преобразования единиц общего объема в единицы объема твердого вещества. Объемная плотность древесной биомассы северных деревьев составляет от 200 до 350 кг/м³ насыпного материала. См. подробные данные в табл. 2.1 (Nurmi 1992, Wilen et al. 1996).

Таблица 2.1. Объемная плотность древесной биомассы североамериканских деревьев (Wilen et al. 1996).

Древесная биомасса северных деревьев	кг/м ³	кг сух./м ³	Влажность, вес. %
Древесная щепа	238	229	3,87
Щепа из лесопильных отходов (Финляндия)	313	293	6,30
Щепа из лесопильных отходов (Швеция)	271	254	6,32
Опилки (сосна)	177	150	15,30
Кора ели	289	274	5,25
Кора сосны	230	219	4,74
Ива (<i>Salix sp.</i>)	227	222	2,39

Необработанные древесные топливные материалы и лесные топливные материалы часто имеют чрезвычайно разнородный гранулометрический состав частиц и различную влажность. Эти материалы содержат фракции различных размеров — от опилок, иголок, коры до деревянных палок и веток. Размеры древесных фракций зависят как от исходного сырья, из которого получают щепу, так и от типа рубительной машины. Чем большее количество стволовой древесины используется для производства щепы, тем более однородным является гранулометрический состав щепы. Размер фракций также зависит от состояния ножей рубительной машины и размера отверстия сортировочного сита. Щепа, полученная с помощью дробильных машин, обычно имеет большие размеры по сравнению со щепой, полученной на рубительных машинах.

Значения теплотворной способности древесной щепы не отличаются в значительной степени в зависимости от используемых для ее производства пород деревьев (18,7-21,9 МДж/кг), хотя хвойные породы имеют несколько более высокую теплотворную способность, чем широколиственные или листопадные породы деревьев. В табл. 2.2 приведены значения калориметрической теплоты сгорания различных компонентов деревьев некоторых североамериканских пород. Аналогичные различия имеются между значениями эффективной теплоты сгорания типичных пород деревьев, произрастающих в североамериканских странах, при этом древесина хвойных пород имеет несколько более высокие значения, чем древесина лиственных пород (таблица 2.3). Это вызвано тем, что хвойные породы деревьев имеют более высокое содержание лигнина и смолы (Nurmi 1992). Следует отметить, что в северном регионе Европы понятие эффективной теплоты сгорания используется чаще, чем калориметрическое значение теплоты.

Структурными элементами (по данным элементарного анализа) органической части древесины являются углерод (45-50%), кислород (40-45%), водород (4,5-6%) и азот (0,3-3,5%). См. подробные данные в табл. 2.4-2.7. В табл. 2.8 приведены значения зольности некоторых пород деревьев. Очевидным преимуществом древесной биомассы перед ископаемым топливом является низкое содержание в ней серы. Элементарный анализ древесины некоторых пород деревьев показывает, что содержание углерода и кислорода в древесине различных пород является довольно однородным. Кора имеет более высокое содержание углерода и кислорода, чем древесина. В этом отношении наиболее наглядными примерами являются береза и ольха. По данным технического анализа количество летучих веществ составляет 65-95%, фиксированного углерода 17-25% и зольность 0,08-2,3% (табл. 2.4). Следует учитывать, что информация о свойствах древесины была отобрана из ряда различных источников. Наиболее полные данные о характеристиках древесного топлива были получены из лабораторий ECN, Центра исследований в области энергетики Нидерландов (см. табл. 2.4).

Таблица 2.2. Значения теплотворной способности абсолютно сухих компонентов дерева (МДж/кг) (Nurmi 1992, Lanzara & Pizetti 1978, Coward 1992).

Вид дерева	Древесина	Кора	Ветви	Листья			
Ясень (<i>Fraxinus sp.</i>)	19,96	19,30	20,33	21,43			
Черешня (<i>Comus sp.</i>)	19,95	20,71	20,26	21,90			
Ольха (<i>Alnus sp.</i>)	20,49	18,09	20,43	21,05			
Багряник (<i>Cercis siliquastrum</i>)	20,36	19,39	19,83	21,30			
Клен красный обыкновенный (<i>Acer rubrum</i>)	20,13	19,08	19,93	20,83			
Ликвидамбар смолоносный (<i>Liquidambar styraciflua</i>)	19,76	19,13	19,61	19,50			
Платан западный (<i>Platanus occidentalis</i>)	19,91	20,00	20,33	21,65			
Дуб (<i>Quercus sp.</i>)	20,00	19,35	19,91	21,28			
Тюльпанное дерево (<i>Liriodendron tulipifera</i>)	20,17	19,39	20,09	21,21			
Вид дерева	Пень	Ствол	Вершина	Кора	Листва	Ветви	Среднее значение
Ель канадская (<i>Picea glauca</i>)	19,83	19,02	21,56	19,83	20,56	21,14	20,32
Ель черная (<i>Picea mariana</i>)	19,20	18,78	21,56	19,48	20,87	20,68	20,10
Сосна Банкса (<i>Pinus banksiana</i>)	19,95	19,44	21,23	21,30	21,43	21,37	20,79
Туя западная (<i>Thuja occidentalis</i>)	19,37	19,96	19,54	18,74	21,45	18,67	19,62
Лиственница (<i>Larix laricina</i>)	19,89	18,78	21,28	19,49	20,09	21,46	20,17
Пихта бальзамическая (<i>Abies balsamea</i>)	19,66	18,75	21,43	18,53	21,50	20,57	20,07
Тополь осиновидный (<i>Populus tremuloides</i>)	18,74	18,67	20,25	19,51	18,80	19,91	19,31
Тополь бальзамический (<i>Populus balsamifera</i>)	18,47	17,71	20,50	19,47	17,66	19,10	18,82
Береза бумажная (<i>Betula Papyrifera</i>)	18,88	18,53	19,85	20,23	21,12	19,72	19,72
Клен (<i>Acer sp.</i>)	18,70	18,68	19,77	18,56	17,23	19,46	18,73

Таблица 2.3. Значения эффективной частоты сгорания древесной биомассы североамериканских деревьев (МДж/кг) (Nurmi 1993).

Вид дерева	Ствол без коры	Кора	Целый ствол	Крона	Целое дерево
Сосна обыкновенная (<i>Pinus Sylvestris</i>)	19,31	19,53	19,33	20,23	19,52
Ель обыкновенная (<i>Picea abies</i>)	19,05	18,80	19,02	19,77	19,29
Береза пушистая (<i>Betula pubescens</i>)	18,68	22,75	19,19	19,94	19,30
Береза повислая (<i>Betula pendula</i>)	18,61	22,52	19,15	19,53	19,29
Ольха серая (<i>Alnus incana</i>)	18,67	21,57	19,00	20,03	19,18
Ольха клейкая (<i>Alnus glutinosa</i>)	18,89	21,48	19,31	19,37	19,31
Осина обыкновенная (<i>Populus tremula</i>)	18,67	18,57	18,65	18,61	18,65

Таблица 2.4. Сводная таблица значений характеристик топливной древесины. База данных лабораторий Центра исследований в области энергетики Нидерландов (ECN, Нидерланды).

Свойство	Единица	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Число результатов
Влажность	вес.% влажн.	20,8	0,6	63,0	90,0	81
Летучие вещества	вес.% сбзм	82,4	63,6	94,9	5,0	199
Зольность	вес.% сух.	2,1	0,0	39,4	191,0	378
ВТС	МДж/кг сбзм	20,1	16,5	26,7	6,0	347
НТС расч.	МДж/кг сбзм	18,7	8,5	25,0	6,0	325
C	вес.% сбзм	50,8	45,6	59,7	4,0	332
H	вес.% сбзм	6,2	4,5	45,9	36,0	332
O	вес.% сбзм	42,5	6,6	47,3	7,0	330
N	вес.% сбзм	0,3	0,0	3,4	111,0	312
S	вес.% сбзм	0,1	0,0	0,9	159,0	268
Cl	вес.% сбзм	0,1	0,0	1,2	239,0	199
F	вес.% сбзм	0,0	0,0	0,0	197,0	25
Al	вес.% сбзм	310,4	10,0	5620,0	254,0	56
As	вес.% сбзм	1,4	0,0	6,8	95,0	26
B	вес.% сбзм	10,3	4,7	37,0	94,0	10
Ba	вес.% сбзм	139,9	1,3	540,0	95,0	48
Ca	вес.% сбзм	13296,9	1000,0	52000,0	94,0	58
Cd	вес.% сбзм	0,6	0,0	3,0	111,0	38
Co	вес.% сбзм	1,9	0,1	6,0	86,0	20
Cr	вес.% сбзм	22,8	0,4	130,0	136,0	30
Cu	вес.% сбзм	22,3	0,3	400,0	278,0	89
Fe	вес.% сбзм	199,0	15,0	3600,0	250,0	56
Hg	вес.% сбзм	0,1	0,0	2,0	367,0	29
K	вес.% сбзм	1883,6	88,0	6100,0	71,0	27
Mg	вес.% сбзм	751,7	160,0	3800,0	86,0	58
Mn	вес.% сбзм	180,8	7,9	840,0	114,0	64
Mo	вес.% сбзм	1,0	0,5	2,0	81,0	3
Na	вес.% сбзм	426,5	17,0	3600,0	216,0	27
Ni	вес.% сбзм	31,7	0,5	540,0	308,0	30
P	вес.% сбзм	484,6	29,0	1100,0	55,0	47
Pb	вес.% сбзм	31,3	0,2	340,0	207,0	38
Sb	вес.% сбзм	0,7	0,0	4,0	140,0	13
Se	вес.% сбзм	1,0	0,2	2,0	60,0	6
Si	вес.% сбзм	1305,3	18,0	20000,0	226,0	55
Sn	вес.% сбзм	1,1	0,3	3,0	60,0	14
Sr	вес.% сбзм	22,8	11,0	49,0	78,0	4
Te	вес.% сбзм	3,7	1,0	20,0	145,0	11
Ti	вес.% сбзм	27,8	1,3	210,0	246,0	9
V	вес.% сбзм	4,1	0,2	23,0	162,0	19
Zn	вес.% сбзм	52,5	6,0	130,0	70,0	32

Таблица 2.5. Технический и элементарный анализы различных видов древесного топлива (Kitani & Hall 1989, Raiko et al. 1995, <http://edcl.vt.tuwien.ac.at>).

Технический анализ, вес. %	Сосна желтая (<i>Pinus ponderosa</i>)	Сосновые опилки	Сосновая кора	Еловая кора	Береза при получении	Смесь береза + клен	Тсуга, пихта, смесь (<i>Tsuga sp., Abies sp.</i>)	Береза (<i>Fagus sp.</i>)	Клен (<i>Acer</i>)	Клен, листва
Зольность	0,3	0,08	1,72	2,34	0,2	0,4	2,2	0,6	1,4	0,6
Влажность	нет данных	15,3	4,74	5,25	5,1	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных
Летучие вещества	82,5	83,1	73	75,2	89,9	84	нет данных	нет данных	нет данных	87,9
Фиксированный углерод	нет данных	16,82	25,28	22,46	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных
Элементарный анализ	Сосна желтая (<i>Pinus ponderosa</i>)	Сосновые опилки	Сосновая кора	Еловая кора	Береза при получении	Смесь береза + клен	Тсуга, пихта, смесь (<i>Tsuga sp., Abies sp.</i>)	Береза (<i>Fagus sp.</i>)	Клен (<i>Acer</i>)	Клен, листва
C	49,3	51	52,5	49,9	47,6	49,8	50,4	48,7	50,6	49,9
H	5,99	5,99	5,7	5,9	6	6,12	5,8	5,8	6,02	6,09
O	44,4	42,82	39,65	41,43	45,5	43,5	41,4	44,7	41,7	43,3
N	0,06	0,08	0,4	0,4	0,1	0,1	0,1	0,12	0,3	0,14
S	0,03	0	0,03	0,03	0,03	0,09	0,1	нет данных	нет данных	0,03
Cl	0,01	<0,005	0,009	0,028	нет данных	0,03	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных
Na	нет данных	0,002	0,003	0,0089	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных
K	нет данных	0,048	0,213	0,3	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных

Таблица 2.6. Технический и элементарный анализы различных видов древесного топлива (Feldmann et al. Kitani & Hall 1989, <http://edcl.vt.tuwien.ac.at>).

Технический анализ, вес. %	Ивовые вершины	Ивовая щепка	Ива (<i>Salix sp.</i>)	Ликвидамбар смолоносный (<i>Liquidambar styraciflua</i>)	<i>Eucaliptus sp.</i> (несколько видов)	Эвкалипт камальдуленский (<i>Eucaliptus camaldulensis</i>)	Эвкалипт шаровидный (<i>Eucaliptus globulus</i>)	<i>Eucaliptus grandis</i>
Зольность	2,3	1,6	1,2	2,2	0,4	0,8	1,1	0,5
Влажность	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных
Летучие вещества	79,7	80,8	нет данных	82,9	нет данных	81,4	81,6	нет данных
Элементарный анализ	Ивовые вершины	Ивовая щепка	Ива (<i>Salix sp.</i>)	Ликвидамбар смолоносный (<i>Liquidambar styraciflua</i>)	<i>Eucaliptus sp.</i> (несколько видов)	Эвкалипт камальдуленский (<i>Eucaliptus camaldulensis</i>)	Эвкалипт шаровидный (<i>Eucaliptus globulus</i>)	<i>Eucaliptus grandis</i>
C	49,4	48,7	49,7	50	48,3	49	48,2	48,3
H	5,9	5,84	6,1	5,95	5,89	5,87	5,92	5,89
O	41,3	43,4	42,6	41,5	45,1	43,9	44,2	45
N	0,96	0,41	0,4	0,18	0,15	0,3	0,39	0,15
S	0,13	0,04	0,03	0,12	0,01	0,01	0,01	0,01
Cl	нет данных	нет данных	0,004	0,02	0,08	0,13	0,2	0,08
F	нет данных	0,01	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных
Br	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных

Таблица 2.7. Технический и элементарный анализы различных видов древесного топлива (Feldmann et al., Kitani & Hall 1989, Ragland et al.).

Технический анализ, вес.%	Дуб черный (<i>Quercus</i>)	Дуб виргинский (<i>Quercus virginiana</i>)	Дуб белый (<i>Quercus alba</i>)	Дуб, щепы из целых деревьев (<i>Quercus sp.</i>)	Дуб красный (<i>Quercus orealis</i>)	Дуб красный болотный	Дуб красный, опилки	Дуб, кора, несколько видов (<i>Quercus sp.</i>)
Зольность	1,4	0,5	1,5	2,8	0,2	0,8	0,3	5,3
Влажность	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных
Летучие вещества	85,6	88,2	81,3	80,5	нет данных	нет данных	86,2	нет данных
Фиксированный углерод	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных
Элементарный анализ	Дуб черный (<i>Quercus</i>)	Дуб виргинский (<i>Quercus virginiana</i>)	Дуб белый (<i>Quercus alba</i>)	Дуб, щепы из целых деревьев (<i>Quercus sp.</i>)	Дуб красный (<i>Quercus orealis</i>)	Дуб красный болотный	Дуб красный, опилки	Дуб, кора, несколько видов (<i>Quercus sp.</i>)
C	49	47,8	49,5	49	49,5	49,9	50	49,8
H	6,04	5,8	5,38	8,65	6,62	5,3	5,92	5,4
O	43,4	45,8	43,1	38,6	43,7	43,8	43,8	39,4
N	0,15	0,07	0,35	0,49	нет данных	0,16	0,03	0,09
S	0,02	0,01	0,01	0,49	нет данных	нет данных	0,01	0,09
Cl	нет данных	нет данных	0,04	нет данных	нет данных	0,02	нет данных	нет данных

Таблица 2.8. Зольность и состав некоторых видов деревьев (Raiko et al., 1995).

Древесное топливо	Зольность %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	N ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Другие*
Береза	0,3	0,9			3,5	45,8	11,6	8,7	15,1	2,6	11,8
Сосна	0,2	3,5			2,7	41,8	16,1	3,1	15,3	4,5	13,0
Ель	0,3	1,0			2,7	36,8	9,8	3,2	29,6	4,3	12,6
Ива	1,7	0,09	0,06		9,9	33,3	5,1		0,2	2,4	48,9
Эвкалипт	0,4	0,6	0,2	0,3	5,9	35,1	10,4	2,3	13,6	1,9	29,7
Кора											
Береза	1,6	3,0		1,0	3,0	60,3	5,9	0,7	4,1		22,0
Сосна	1,8	14,5		3,8	2,7	40,0	5,1	2,1	3,4		28,4
Ель	3,4	21,7		1,8	2,7	50,5	4,2	2,8	3,5		12,8
Дуб	1,5	11,1	0,1	3,3		64,5	1,2	8,9	0,2		10,7

*Расчетное значение

3. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

3.1 ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО В ЛЕСУ

3.1.1 Общие положения

В настоящей работе термин "древесное топливо" используется обобщенно для обозначения древесных материалов, заготавливаемых непосредственно в лесу с применением рациональных методов ведения лесного хозяйства (рис. 3.1). Заготовка древесного топлива может осуществляться одновременно с проведением промышленных рубок или при рубках ухода в лесных молодняках. Топливная древесина с плантаций с коротким оборотом рубок не входит в предмет данного раздела и рассматривается далее в разделе 3.2.

Основными источниками топливной древесины или получаемого в лесу древесного топлива являются:

- ♦ тонкомерная древесина, заготавливаемая при рубках ухода и прореживании молодняка;
- ♦ тонкомерная древесина, являющаяся побочным продуктом первых промышленных рубок прореживания;
- ♦ отходы с лесосек, на которых проводятся рубки главного пользования;
- ♦ низкосортные деревья, не пригодные для использования в качестве сырья в лесной промышленности.

Древесина, пригодная для использования на предприятиях лесной промышленности, не включается в запасы топливной древесины, так как более экономически эффективным является ее применение в процессах производства целлюлозы и бумаги (Hakkila & Frederikson 1996).

При оценке потенциальных запасов топливной древесины необходимо учитывать существующие технические (относящиеся в основном к заготовке) и экологические ограничения. Действительный существующий потенциал использования топливной древесины в значительной степени зависит от используемых промышленных технологий, уровня цен на различные виды топлива, а также государственной политики в энергетической сфере (например, уровня налогообложения ископаемых видов топлива и возможного субсидирования возобновляемых источников энергии). Так, в Финляндии в течение нескольких последних десятилетий колебания спроса на топливную древесину и степень использования древесины в качестве топлива соответствовали экономическим колебаниям. Колебания спроса предприятий лесной промышленности на тонкомерную древесину, нефтяной кризис и уровень безработицы оказывали влияние на степень использования топливной древесины.



Рис.3.1. Подготовленная к сжиганию лесная древесная щепка (фотография: Varo Ltd).

Только в конце 1990-х гг. с ростом обеспокоенности во всем мире в связи с увеличением воздействия парникового эффекта стало возрастать использование топливной древесины. Кроме того, интенсивное развитие технологий промышленных лесозаготовок привело к увеличению использования топливной древесины, которая во многих случаях считалась бракованным лесоматериалом (Hakkila & Frederikson 1996).

Можно предположить, что в будущем планирование заготовок и производство древесного топлива будут тесно интегрированы во все системы лесопользования, планирования и логистики лесозаготовок, управления качеством и сертификации лесного хозяйства (Hakkila & Frederikson 1996).

Следующие факторы могут в будущем обеспечить увеличение использования древесного топлива:

- ♦ наличие и доступность;
- ♦ надежность;
- ♦ надлежащее качество (т.е. требуемые размер частиц и влажность, отсутствие загрязнений в топливе);
- ♦ большие объемы (широкомасштабное промышленное производство древесного топлива);

- ♦ наличие резервных запасов (например, для использования в период неблагоприятных погодных условий и состояния местности);
- ♦ уровень цен и конкурентное ценообразование на этапе конечного применения;
- ♦ налоговая политика.

3.1.2 Лесосечные отходы

Что представляют собой лесосечные отходы?

Лесосечные отходы состоят из листвы, хвои и вершин деревьев (ветвей и крон), нетоварных балансов. Они образуют основной экономически значимый источник сырья в производстве древесного топлива. Однако количество и состав лесосечных отходов варьируется в значительных пределах в зависимости от лесосеки. Количество лесосечных отходов зависит от породы дерева, объема древостоя, размеров, ветвистости деревьев, степени разложения древесины. С учетом этих параметров можно определить приблизительное количество лесосечных отходов спелых деревьев различных пород. На рис. 3.2 показано соотношение между массой зелени и массой ствола (Alakangas et al. 1999).

На рис. 3.3 можно видеть соотношение стволовой древесины, ветвей и вершин зрелых деревьев некоторых пород. Из приведенных данных видно, что наибольшее количество биомассы дают зрелые деревья ели обыкновенной (*Picea abies*).

Наилучшим потенциалом для получения энергии из древесины обладают лесосечные отходы, заготавливаемые при рубках главного пользования спелых еловых древостоев. Большинство технологических разработок и основной опыт, накопленный в сфере производства топливной древесины, относятся к производству топливной древесины из лесосечных отходов, полученных при рубках главного пользования елового древостоя (Alakangas et al. 1999).

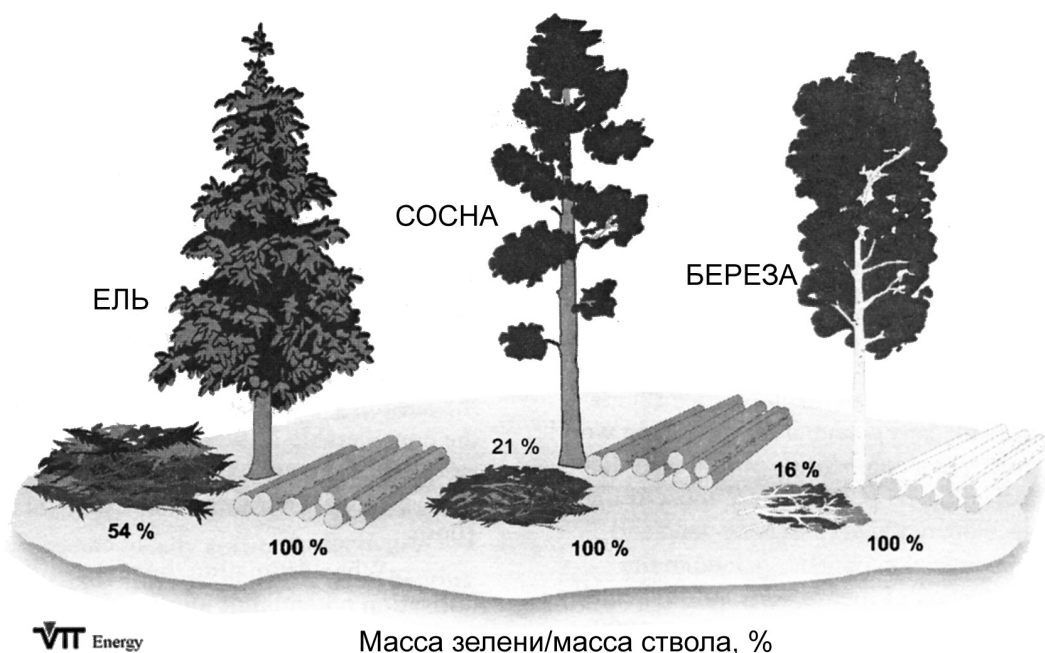


Рис. 3.2. Лесосечные отходы от спелых деревьев различных пород. Источник: Alakangas et al. 1999.

Выход лесосечных отходов

Выход лесосечных отходов зависит от методов рубки, характеристик применяемых машин и оборудования, времени производства лесозаготовительных работ, а также от того, является ли заготавливаемая древесина свежей или подсохшей. В среднем уровень выхода лесосечных отходов зрелого елового древостоя составляет от 65 до 75% потенциальной массы лесосечных отходов и от 20 до 30% товарной древесины, заготавливаемой на данной лесосеке. Заготовка лесосечных отходов от свежесрубленных деревьев позволяет получить больший выход лесосечных отходов. Выход подсохших или "бурых" лесосечных отходов на единицу площади может быть на 20-30% меньше, чем выход свежих или "зеленых" лесосечных отходов, в основном из-за осыпания хвои. Однако,

несмотря на значительные различия в выходе, эти виды лесосечных отходов почти не отличаются по энергетическому содержанию (Alakangas et al. 1999).

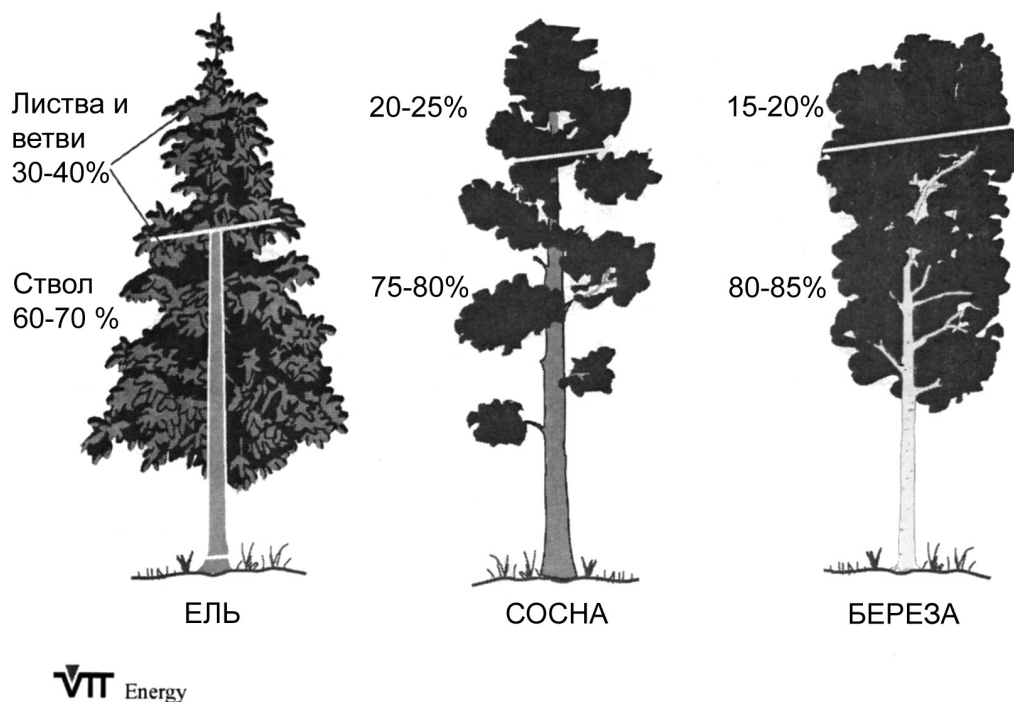


Рис. 3.3. Биомасса спелых деревьев различных пород (Altener 1998:1).

Оценку потенциала использования лесосечных отходов следует проводить с учетом следующих факторов (Hakkila et al., 1998 and Alakangas et al. 1999).

Выбор между рубкой основного пользования и рубкой промежуточного пользования (прореживания). Заготовка лесосечных отходов является экологически и экономически более эффективной на лесосеках рубок основного пользования, чем на лесосеках рубок промежуточного пользования.

- ♦ Минимальные размеры площади лесосеки.
- ♦ На одной лесосеке должно быть заготовлено не менее одного полного прицепа лесосечных отходов (100-120 складских м³), т.е. она должна иметь площадь не менее 0,5-1 га в южном и центральном районах Финляндии.
- ♦ Также необходимо учитывать породы деревьев, расстояние транспортировки, местонахождение ближайшей лесосеки, цепочки рабочих участков и этапы работ, характеристики производительности и мобильности машин и оборудования.
- ♦ Выход никогда не достигает 100%; средний выход составляет 70%.
- ♦ Заготовка свежих (зеленых) или подсохших (бурых) лесосечных отходов увеличивает или уменьшает выход лесосечных отходов.
- ♦ Заготовку лесосечных отходов не следует производить в экологически уязвимых районах.

Где можно производить заготовку лесосечных отходов?

Участок заготовки лесосечных отходов может считаться приемлемым, если он имеет следующие характеристики.

- ♦ Лесосека содержит максимальное количество елей, позволяющих обеспечить высокую производительность и получить высокий выход.
- ♦ Почва должна быть высокоплодородной с тем, чтобы минимизировать потерю питательных веществ.
- ♦ Лесосека должна иметь достаточно большую площадь или несколько лесосек должны находиться рядом друг с другом с тем, чтобы обеспечить экономически эффективный выход лесосечных отходов.
- ♦ Достаточная проходимость местности и хорошая несущая способность почвы.
- ♦ Отсутствует подрост и участок не засорен большим количеством камней, затрудняющих заготовительные работы.

- ♦ Короткие расстояния транспортировки леса.
- ♦ Имеется достаточно места у обочины дороги (на верхнем складе) для размещения лесосечных отходов при транспортировке на большие расстояния.

Положительные и отрицательные аспекты заготовки лесосечных отходов

Имеются положительные и отрицательные аспекты заготовки лесосечных отходов, которые определяются, например, характеристиками участка расположения лесосеки (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Потенциальные положительные (+) и отрицательные (-) аспекты заготовки лесосечных отходов (Alakangas et al. 1999).

-	Изъятие органического вещества из круговорота питательных веществ
-	Уменьшение защитного гумусового слоя
-	Изъятие некоторых питательных веществ из экосистемы
-	Увеличивается опасность окисления
-	Опасность потери растительности
+	Уменьшение вымывания питательных веществ в водные объекты
+	Подготовка почвы может осуществляться с использованием более "щадящих" методов и машин
+	Более быстрое развитие растений на участке регенерации
+	Так как становятся возможными более ранние посадки, снижается потребность в применении средств борьбы с травами
+	Облегчается посадка растений: используются места и участки, более приемлемые для посадок
+	Улучшение ландшафта и повышение рекреационной ценности местности
+	Снижение затрат на регенерацию леса
+	Более быстрая регенерация леса с лучшими результатами

Увеличение использования лесосечных отходов окажет значительное воздействие на методы ведения лесного хозяйства. Например, профессор Пенти Хаккила (Pentti Hakkiila) (1998) прогнозирует следующие последствия.

- ♦ Производство энергии будет интегрировано во все системы планирования и ведения лесного хозяйства.
- ♦ Эти изменения окажут воздействие на деятельность частных предпринимателей, предоставляющих машины и оборудование и осуществляющих перевозки, и появятся новые предприниматели, специализирующиеся на производстве древесного топлива.
- ♦ Повысится спрос на древесное топливо, которое также начнет пользоваться спросом в новых географических регионах; производство древесного топлива будет осуществляться в течение всего года.
- ♦ Число организаций, осуществляющих закупки древесного топлива, будет увеличиваться, и они будут использовать более производительные машины и оборудование.
- ♦ В связи с возросшим спросом для заготовки лесосечных отходов потребуется использовать новые виды древостоя и, возможно, осуществлять заготовки в более сложных условиях.
- ♦ Увеличатся расстояния и повысятся требования к эффективности транспортировки лесосечных отходов.
- ♦ Будет совершенствоваться логистика заготовок лесосечных отходов и производство щепы будет переноситься на специализированные терминалы (склады) и объекты конечного пользования.
- ♦ Эти факторы окажут значительное воздействие на методы и технологии регенерации леса и затраты на регенерацию.
- ♦ Будут изданы детальные методические пособия по практическим методам работы, например по вопросам охраны окружающей среды.
- ♦ Использование лесосечных отходов будет включено в системы управления качеством лесозаготовок и предприятий лесной промышленности, а также в системы лесной сертификации.

3.1.3 Древесное топливо, получаемое при прореживании молодняка и уходе за ним

Система лесопользования, применяемая в североевропейских странах, имитирует естественный цикл оборота лесонасаждений. Уход за древостоем осуществляется посредством регулярных прореживаний, завершаемых рубкой восстановления, или основного пользования. Промышленной рубке предшествует предпромышленная рубка, при которой не осуществляется заготовка леса из-за его малых размеров. Предпромышленная рубка увеличивает прирост растущих деревьев и повышает качество древостоя. По сравнению с рубкой основного пользования рубки прореживания характеризуются более низкой производительностью и использованием более сложных средств механизации, высокой себестоимостью заготовок, чрезмерной потерей балансовой древесины в процессе рубки и окорки, при этом недостаточно хорошо известны технические характеристики тонкомерной древесины. Поэтому предприятия предпочитают закупать сырьевые материалы рубок главного пользования. Например, в Финляндии во многих случаях вообще не производятся планируемые рубки прореживания. В настоящее время одной из главных задач является проведение первых промышленных прореживаний, так как значительная часть молодого древостоя, посаженного в 1960-е гг., уже достигла этой фазы (например, Hakkila 1995).

Типичная цепочка этапов лесопользования в условиях южной Финляндии приведена в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Пример режима лесопользования, применяемого в южной Финляндии (Hakkila 1995).

Вид рубки	Возраст древостоя, лет	Объем ствола, м ³	Выход древесины, м ³ /га
Предпромышленная рубка	10-20	-0,02	-
1-е промышленное прореживание	25-40	0,03-0,08	30-50
2-е промышленное прореживание	40-55	0,09-0,15	40-80
3-е промышленное прореживание	55-70	0,15-0,25	60-90
Рубка основного пользования для регенерации	70-100	0,20-0,70	200-300

Существует общая точка зрения относительно того, что использование древесины в качестве топлива не должно ставить под угрозу поставки сырья на предприятия лесной промышленности. Вместе с тем большое количество тонкомерных деревьев, не пригодных для промышленного использования, могли бы быть изъяты из молодого древостоя в порядке ухода за лесонасаждениями. Проблема заключается в том, что по вышеописанным причинам не имеется достаточного спроса на эти низкосортные и/или дорогостоящие запасы биомассы. Более того, первые прореживания проводились гораздо реже, чем требуется в соответствии с лесотехническими нормами. Непроведение рубок ухода за молодняками приводит к образованию на многих участках значительных запасов древесины, которая может быть использована для производства энергии. Например, в Финляндии пригодные для заготовок запасы топливной древесины включают щепу:

- ♦ из тонкомерных целых деревьев;
- ♦ из древесины, заготовленной при предпромышленных рубках ухода;
- ♦ из древесины, заготовленной при 1-х промышленных прореживаниях;
- ♦ из непродуктивного древостоя твердых пород;
- ♦ из лесосечных отходов рубок осветления (Hakkila 1995).

Что касается первых прореживаний, то в настоящее время разрабатываются интегрированные методы заготовки промышленной и топливной древесины с целью повышения ценовой конкурентоспособности обоих видов древесины. В качестве одного из решений проблемы удовлетворения возрастающего спроса на древесину первых прореживаний предлагается рекомендовать владельцам лесов осуществлять заготовку древесины собственными силами. При использовании современных методов заготовки длинномерного сортимента в лесах остается большое количество древесного сырья, которое может быть использовано для получения энергии. Использование вершин деревьев,

маломерных деревьев (балансовой древесины) также позволит повысить уровень прибыльности, в особенности при заготовке древесины на участках древостоя, где запасы промышленной балансовой древесины остаются на низком уровне.

С точки зрения технологии лесозаготовки так называемое "осветление" молодняка сравнимо с первым прореживанием. Эта операция часто не имеет промышленного значения из-за малых запасов промышленной балансовой древесины (рис. 3.4).

Как правило, пригодными для заготовок топливной древесины являются молодняки с низким уровнем запасов товарной балансовой древесины. Типичными примерами таких древостоев являются:

- ♦ участки, где задерживается проведение предпромышленных рубок ухода;
- ♦ участки, на которых была проведена семеннолесосечная рубка (удалены материнские насаждения);
- ♦ участки повторного дренирования и бывшие поля (пахотные земли), на которых были проведены рубки прореживания.



Рис. 3.4. Пример молодого лесного древостоя, пригодного для промышленной заготовки древесины (фотография: BENET).

В связи с высоким содержанием питательных веществ в листе и хвое рекомендуется при заготовке топливной древесины в виде целых деревьев оставлять их на лесосеке для подсыхания до полного осыпания листвы/хвои. В этом случае минимизируется потеря питательных веществ и улучшается качество древесины (подсыхание повышает теплотворную способность). На участках с обедненными почвами также рекомендуется срезать и оставлять на лесосеке вершины деревьев.

Коскеранта и Рейман (Koskenranta and Reiman 1997) составили следующий предварительный перечень объектов, которые рекомендуются, пригодны или не рекомендуются для проведения заготовок в порядке проведения лесоводческих работ (т.е. прореживаний и ухода за молодняком). Хотя данные рекомендации относятся к условиям центральной Финляндии, их можно использовать и в других регионах.

Объекты, рекомендуемые для заготовок топливной древесины:

- ♦ Леса, используемые в основном для рекреационных целей и досуговой деятельности на открытом воздухе.

Объекты, приемлемые для заготовок топливной древесины:

- ♦ Легкодоступные участки с почвой, имеющей достаточно высокую несущую способность, с достаточно высоким содержанием питательных веществ, на которых произрастают несколько видов деревьев.

Объекты, не рекомендуемые для заготовок топливной древесины:

- ♦ Участки с обедненными почвами с высокой водопроницаемостью, а также участки с тонким гумусовым слоем.
- ♦ Леса, на которые оказали негативное воздействие дисбаланс питательных веществ (например, на торфяниках с низким содержанием калия и бора по сравнению с другими питательными веществами), грибы и другие факторы, ослабляющие состояние растущих деревьев.
- ♦ Районы, пострадавшие от выпадения кислотных осадков.
- ♦ Районы, представляющие природную ценность с природоохранительной точки зрения.

3.2. ПРОИЗВОДСТВО БИОМАССЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЛЕСАХ

3.2.1 Ивовая биомасса

В западном мире существует проблема перепроизводства сельскохозяйственной продукции. В то же время мы обеспокоены проблемой непрерывного увеличения энергетических потребностей. Основной вопрос заключается в том, можно ли переориентировать существующие сельскохозяйственные поля, используемые для производства продовольственной продукции, на производство

энергетических и непродовольственных культур (рис. 3.5). В настоящем разделе рассматриваются только возможности использования культивируемых видов растений для производства биомассы, в частности различных видов ивняка, которые мы включили в перечень возобновляемых источников энергии. Типичные продукты сельскохозяйственной деятельности, такие как солома и топливная трава, в настоящей работе не рассматриваются.

Похйонен (Pohjonen 1991) представил детальное описание параметров пригодности различных видов ивняка (*Salix* sp.) для использования в так называемом лесопользовании для производства биомассы, или энергетическом лесопользовании, или лесопользовании с коротким оборотом рубок. Род *Salix* является одним из крупнейших родов деревьев в растительном царстве. По различным оценкам, в мире существует 300-350 видов ивняка. Несколько видов этого растения распространены в Европе.

Концепции производства биомассы, использования биомассы для производства энергии, получения ивовой биомассы восходят к 1960-м и 1970-м гг., когда реализация ряда программ биологических исследований и два нефтяных кризиса сыграли заметную роль в пробуждении общественного интереса к культивированию ивняка для производства энергии (Pohjonen 1991).

Многие виды ивняка имеют ряд свойств, которые делают его пригодным для производства энергии и культивирования с целью получения биомассы; в их числе:

- ♦ высокий потенциал роста;
- ♦ высокая урожайность при коротких оборотах рубки;
- ♦ хорошая способность черенков к укоренению;
- ♦ твердость древесины в зимний период;
- ♦ устойчивость к болезням;
- ♦ устойчивость к наводнениям;
- ♦ спонтанная гибридизация, позволяющая осуществлять селекцию;
- ♦ высокая адаптивность к неблагоприятным условиям среды (Pohjonen 1991).

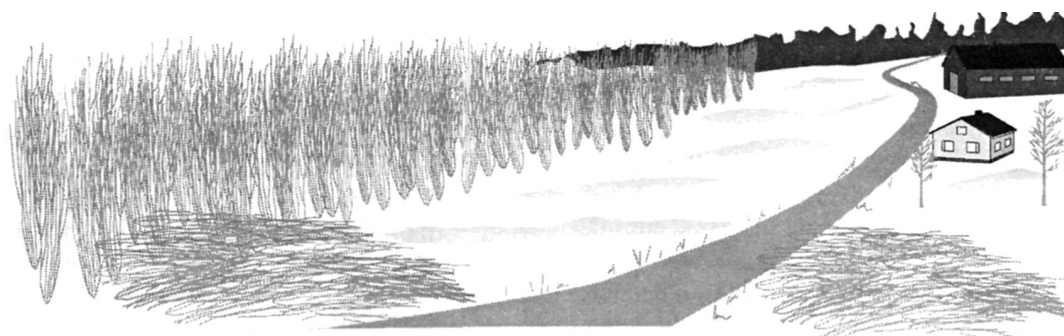


Рис. 3.5. Ивняк можно выращивать на участках, которые не используются для производства продовольственных культур.

Первоначальные исследования и развитие выращивания корзиночной ивы сыграли важную роль в развитии производства биомассы из ивняка. Высокоурожайная корзиночная ива имеет также высокое содержание сухого вещества. Похйонен (Pohjonen 1991) указывает, что первоначальные исследования, проведенные в 1970-е гг., показали, что ивняк имеет высокую урожайность на плодородных землях при использовании интенсивных сельскохозяйственных методов. В некоторых исследованиях указывается, что некоторые экзотические виды ивняка оказались более продуктивными источниками биомассы, чем местные виды.

1970-е и 1980-е гг. стали периодом настоящего бума в исследованиях потенциала ивняка как источника биомассы. Затем начались интенсивные исследования в сфере использования биомассы для производства энергии в Швеции, Финляндии, Великобритании, Ирландии и Канаде. В 1986 г. в Швеции ивоводство стало одной из практических отраслей сельскохозяйственного производства. В Швеции также реализуется программа исследований с целью получения промышленных сортов, имеющих высокую урожайность и обеспечивающих гарантированность урожая (Pohjonen 1991).

Похйонен (Pohjonen 1991) обобщает результаты селекционных исследований ивняка, предназначенного для производства биомассы, проведенных в 1980-е гг.

1. Использование только экзотических видов или даже одного вида представляет риск для практического ивководства; известны примеры неурожаев.

2. В целом высокая гарантированность урожая важнее, чем высокая урожайность.

3. Разнообразию видов является важным фактором в крупномасштабном производстве ивняка для получения биомассы в связи с постоянной угрозой порчи растений патогенными организмами и насекомыми-вредителями.

4. Программы разведения растений должны основываться на данных исследований естественных популяций.

Тахванайненом (Tahvanainen 1995) было издано учебное пособие с описанием основ ивководства. Авторы Данфорс и др. (Danfors et al. 1998) (Шведский агротехнический институт) также выпустили детальное учебное пособие для фермеров, выращивающих порослевые насаждения с коротким периодом оборота рубки. Они, например, указывают на значение правильного выбора приемлемых участка и почвы, а также дают подробное описание этапов культивирования ивняка: обработки почвы, посадки, борьбы с сорняками, внесения удобрений, заготовки и транспортировки. Эта брошюра, в которой также рассматриваются характеристики машин и оборудования, вопросы логистики, экономики и охраны окружающей среды, содержит большое количество ценной информации, необходимой для заинтересованного читателя.

Наиболее распространенным видом, используемым в энергетическом лесоводстве, является ива корзиночная (*Salix Viminalis*), характеризующаяся быстрым ростом и высокой устойчивостью к болезням. Ниже представлены типичные этапы и характеристики энергетического лесоводства, описанные Тахванайненом (Tahvanainen 1995):

- ♦ Короткие обороты рубки (3-5 лет), используемые с целью поддержания высокого уровня урожайности.

- ♦ Заложение насаждений с использованием стволовых черенков длиной около 20 см.

- ♦ Плотность посадки: около 18 000 черенков на гектар.

- ♦ Посадка производится весной сразу же после обработки почвы и проведения мероприятий по борьбе с сорняками с целью создания максимально благоприятных условий для укоренения и развития побегов.

- ♦ Чрезвычайно важное значение имеют ирригация и эффективная борьба с сорняками, особенно в год заложения насаждения.

- ♦ Наиболее производительные посадочные машины осуществляют одновременную четырехрядную посадку черенков. Засев одного гектара занимает около одного часа.

- ♦ После первого года осуществляется срезка побегов, после чего начинается период промышленной заготовки.

- ♦ На заложенных надлежащим образом плантациях можно получить урожай от 9 до 12 тыс. кг сухого вещества на гектар в год с содержанием энергии, эквивалентным содержанию энергии в 3,7-4,9 т нефти.

- ♦ Сбор урожая с одной плантации производится каждые 4-5 лет; этот цикл может продолжаться в течение 25-35 лет, после чего осуществляется перезаложение насаждения.

- ♦ Заготовительные работы производятся на плантации ивняка в зимний период после опадания листвы и замерзания почвы (рис. 3.6).

- ♦ Заготовка целых стволов облегчает складирование. Стволы могут подсушиваться для сжигания в укладываемых на открытом воздухе штабелях, при этом к следующей осени содержание влаги в них уменьшается до 30%.

- ♦ Наиболее эффективные заготовительные комбайны представляют собой самоходные машины, осуществляющие срезание и измельчение побегов на загрузочных платформах.



Рис. 3.6. Пример заготовки ивняка с прямой переработкой в щепу (Danfors et al. 1998).

- ♦ Некоторые рубительные машины могут агрегатироваться с сельскохозяйственными тракторами. В этом случае уборка одного гектара занимает около трех часов.
- ♦ Созревший для проведения заготовительных работ энергетический лес содержит от 40 000 до 50 000 кг сухого вещества на гектар, что равно 110-135 м³ плотного объема. Побеги имеют высоту от 5 до 6 м и диаметр 3-5 см на уровне груди.

В настоящее время в южной Швеции имеется около 18 000 га энергетических лесов, которые состоят в основном из различных видов *Salix*. Были разработаны эффективные технологии культивирования и лесопользования, вместе с тем требует решения проблема неравномерности качества плантаций. Удобрения вносились только на четвертой части используемых угодий, что также вызывает различия в результатах заготовительных работ. Лучше всего ивняк растет на доброкачественных сельскохозяйственных землях с хорошей водопропускной способностью. Посадка растений в энергетических лесах осуществляется черенками со сбором урожая каждые четыре года. После срезания растений из пней вырастают новые побеги. Один ивовый древостой используется в среднем около 30 лет (SVEBIO 1998, Hasselgren 1999).

В Швеции урожай *Salix*, собираемый на зрелых плантациях, при первой заготовке составляет приблизительно 5 т сухого вещества на гектар; при второй заготовке урожай достигает 7-9 т/га. Однако имеются значительные различия в урожайности между разными плантациями. Например, в один из годов была зарегистрирована урожайность 20 т/га (SVEBIO 1998).

Другой важной сферой применения различных видов ивовых деревьев (*Salix*) в дополнение к производству энергии и в сочетании с ним является экологическое лесопользование. Ивовые плантации используются в процессах сбора и удаления отходов, при проведении ландшафтных работ и формировании зеленых зон в городских районах (например, в промышленных районах и на участках свалок, где требуется быстро высадить покровные растения). Кроме того, способность ивы поглощать большое количество воды, быстро расти и связывать тяжелые металлы была использована при создании так называемых зон очищения с применением растительных фильтров (Tahvanainen 1995, Hasselgren, 1999).

Степень воздействия на окружающую среду становится все более важным фактором, учитываемым при принятии решений в сфере энергетической политики. Понятия энергетического выхода и энергетического баланса позволяют определить, насколько прибыльным является культивирование энергетического растения с точки зрения энергетической эффективности. Эффективность производства энергии определяется отношением выход/вход, которое должно быть максимально высоким. У ивняка это отношение превышает 19, у травы оно составляет около 8 (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Выход энергии топливного ивняка и топливной травы (Tahvanainen 1995).

Топливная биомасса	Отношение выход/вход	Чистый выход, МВт·ч/га/год
Топливный ивняк	19,3	39
Топливная трава	8,3	19

3.2.2 Производство биомассы из некоторых других видов деревьев с коротким оборотом рубки

Исследование Саарсалми и др. (Saarsalmi et al. 1992) посвящено производству биомассы из ольхи серой (*Alnus incana*) и березы повислой (*Betula pendula*). Ольха и береза являются быстрорастущими деревьями и, следовательно, потенциальными источниками топливной биомассы. Например, древесина березы, имеющая высокую теплотворную способность, — традиционный источник топливной древесины. Однако высококачественная древесина березы представляет значительную коммерческую ценность для предприятий лесной промышленности.

Сравнение производства биомассы из ольхи серой и березы повислой показывает, что ольха серая является значительно более продуктивным источником биомассы, чем береза повислая. После девяти сезонов роста производство биомассы из *Alnus incana* составляло от 18 500 до 25 000 кг/га, а из *Betula*

pendula — от 8 000 до 13 000 кг/га в зависимости от количества удобрений, внесенных на участках древостоев (Saarsalmi et al. 1992).

Ольха серая успешно культивируется как на минеральных, так и на торфяных почвах. Хотя ольха способна связывать атмосферный азот и оказывает благоприятное воздействие на почву, обогащая ее благодаря быстрому разложению богатого азотом листовенного опада, она не пользуется высоким спросом в лесной промышленности. Ольха имеет низкую товарную ценность и, являясь быстрорастущим видом дерева, оказывает негативное воздействие на рост других, более ценных видов деревьев. Однако выращивание ольхи совместно с другими деревьями может заменить внесение азотных удобрений. Лиственный опад ольхи имеет высокое содержание азота — от 20 до 30 г/кг, что в 2-3 раза превышает содержание азота в листовенном опаде других европейских листопадных деревьев. В ряде исследований указывается, что выращивание ольхи совместно с тополем (*Populus* sp.) позволило увеличить производство биомассы из тополя (Saarsalmi et al. 1992).

3.3 ПОБОЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Производство продукции из лесоматериалов, в особенности целлюлозы и бумаги, требует значительных затрат энергии. Вместе с тем количество энергии, потребляемой лесопильнями и предприятиями при производстве древесных плит, составляет только треть объема энергии, расходуемой целлюлозно-бумажными предприятиями. Значительная доля энергии, потребляемой лесной промышленностью, поступает из внутренних источников, которые представляют в основном вторичное древесное топливо и побочные продукты самой лесной промышленности. Отмечается снижение потребления ископаемого топлива, в особенности угля и нефти, в то же время увеличивается потребление природного газа и торфа (Ключ к лесной промышленности Финляндии, 1998 г.) (Key to the Finnish Forest Industry 1998).

3.3.1 Предприятия механической обработки древесины

Предприятия механической обработки древесины лесной промышленности (т.е. предприятия по распиловке древесины, производству фанеры, древесностружечных или древесноволокнистых плит) потребляют 100% обрабатываемого древесного сырья и полностью обеспечивают себя энергией, получаемой в основном из возобновляемых источников энергии. Кора и опилки, являющиеся побочными продуктами этих предприятий и используемые в производстве энергии для собственных нужд, часто также применяются в качестве топлива для производства энергии на других котельных установках и ТЭЦ. Содержание биоэнергии в этих побочных продуктах составляет почти 1 000 кВт на 1 м³ обработанного лесоматериала. Энергосодержание самих пиломатериалов, которые также могут быть использованы как источник энергии после окончания их жизненного цикла, более чем в два раза превышает энергосодержание побочных продуктов. Около 15% сырьевого материала бревен (в основном коры) используется для удовлетворения потребности в энергии предприятий механической обработки лесной древесины. Более 40% объема закупленных бревен используется для производства побочной продукции, т.е. древесной щепы, применяемой в качестве сырья на предприятиях по производству химической целлюлозы и бумаги, и опилок, используемых в производстве химической целлюлозы и древесностружечных плит (Ключ к лесной промышленности Финляндии, 1998 г.) (Key to the Finnish Forest Industry 1998; Ymparistonsuojelun vuosikirja, Saha- ja levyteollisuus 1999). Соответствующие данные приведены на рис. 3.7 и 3.8.

Побочная продукция предприятий механической обработки древесины может использоваться в производстве энергии, как это в большинстве случаев происходит в Финляндии, или подвергаться дальнейшей обработке с целью получения гранул и брикетов — это является типичным способом использования побочной продукции в Швеции. За последние несколько лет возросло значение побочной продукции лесопильных предприятий как источника древесного топлива, поставляемого другим предприятиям и заказчикам. В связи с этим возникает необходимость дальнейшего развития этой отрасли с целью удовлетворения нужд потребителей и увеличения производства энергии. Ноусиайнен (Nousiainen 1999) выделяет следующие области, требующие развития: снижение неравномерности качества древесных отходов (в основном коры), минимизация количества снега и льда, развитие методов окоривания на лесопильнях, сокращение потерь сухого материала при хранении коры и опилок, отделение инородных материалов, в основном камней, от коры, собранной на участках распиловки бревен, улучшение свойств побочной продукции.

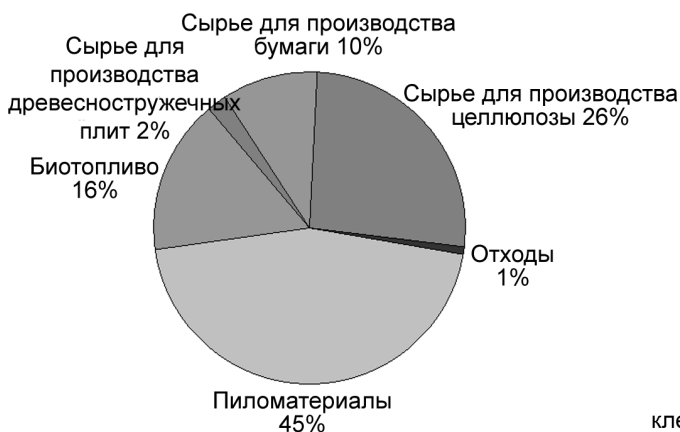


Рис. 3.7. Использование бревен в производстве материалов и побочной продукции.



Рис. 3.8. Доля различных компонентов в производстве фанеры (Ymparistonsuojelun vuosikirja, Saha- ja levyteollisuus 1999).

3.3.2 Производство целлюлозы и бумаги

В процессе производства химической целлюлозы генерируется значительное количество побочной энергии. В процессе варки содержащийся в древесине лигнин растворяется, переходя в варочную жидкость, и затем при сжигании варочной жидкости в котле-утилизаторе осуществляется утилизация выделяемой энергии. Одновременно регенерируются содержащиеся в варочной жидкости химикаты, которые могут быть повторно использованы впоследствии. Этот процесс – регенерация варочных химикатов определяет экономическую эффективность и воздействие на окружающую среду процесса производства целлюлозы. Древесная кора также сжигается с целью получения энергии. Таким образом, завод по производству химической целлюлозы производит избыточную электроэнергию, которую он может поставлять, например, на бумагоделательную фабрику, являющуюся частью того же производственного комплекса. Современный завод по производству целлюлозы представляет собой модель энергетической эффективности. Он не только удовлетворяет собственные нужды, но также может продавать электроэнергию сторонним потребителям. Предприятия по производству продукции из древесины являются крупнейшим внутренним источником производства энергии в Финляндии и имеют даже большее значение для национальной экономики, чем гидроэлектростанции (Ключ к лесной промышленности Финляндии, 1998 г.) (Key to the Finnish Forest Industry 1998).

В процессе производства древесной массы (механической целлюлозы) 95-97% древесного сырья преобразуется в конечную продукцию, в то время как при производстве химической целлюлозы этот показатель составляет 50%, при этом большая часть второй половины материала в форме черного щелока используется для производства энергии. Преимуществом процесса производства механической целлюлозы является высокий выход конечного продукта по отношению к объему используемого сырья, а недостатком – большие энергозатраты. Механический процесс производства древесной массы требует в 2-4 раза больше энергии, чем химический процесс. Поэтому электроэнергия, потребляемая так называемыми "установками размола древесины" или ТМУ (термомеханическими установками для производства целлюлозы) поставляется из сторонних источников (Ключ к лесной промышленности Финляндии, 1998 г.) (Key to the Finnish Forest Industry 1998).

3.4 УТИЛИЗИРУЕМОЕ ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО

Под "утилизируемым древесным топливом" мы понимаем такие "древесные отходы" или такие изделия из древесины, которые использовались в течение определенного времени для какой-то конкретной цели и по истечении цикла эксплуатации превратились в отходы. Они включают, например, древесные отходы, образовавшиеся в результате разрушения или сноса зданий и сооружений, старую кухонную мебель, грузовые паллеты и т.д. Пропитанная древесина классифи-

цируется как опасные отходы. "Отходы" деревообрабатывающей промышленности, такие как опилки, стружка и т.д., являются не отходами как таковыми, а скорее представляют собой побочные продукты производства. Это же относится к "отходам" от рубки деревьев, например "лесосечным отходам", включенным в категорию древесных. Как указывалось ранее, "отходы" заготовок лесной древесины, например лесосечные, также не включаются в категорию древесных отходов. Проблема заключается в том, что не имеется четкого определения понятия "древесные отходы" и в повседневной речи может допускаться терминологическая путаница. Понятие "утилизируемое топливо" или УЭТ/УТ включает топливо, произведенное из отобранных, безопасных, горючих, сухих и отсортированных в источнике происхождения (отобранных и отсортированных на объекте-источнике) отходов.

Разделение отходов в источнике происхождения определяет высокий уровень (около 40%) использования в Финляндии утилизируемого топлива (Alakangas et al. 1999). Типичными сырьевыми материалами, используемыми в качестве утилизируемого топлива, являются упаковочные отходы и древесные отходы, образующиеся на строительных площадках. Основным видом применения утилизируемого топлива является его использование в качестве замещающего топлива на установках комбинированного производства тепловой и электрической энергии. Утилизируемое топливо также может использоваться как основное на установках, специально предназначенных для использования такого вида топлива или имеющих конструкцию, позволяющую осуществлять такое сжигание (FINBIO 1998). Планируемая к выпуску директива, определяющая требования к порядку сжигания отходов, включая утилизируемое древесное топливо, может осложнить применение утилизируемого древесного топлива. Указанная директива требует, чтобы на всех энергетических установках были установлены приборы постоянного измерения уровня выбросов, например уровня выбросов тяжелых металлов. Это требование, безусловно, необходимо для предприятий по сжиганию отходов, но абсурдно для установок, использующих в качестве топлива утилизируемые отсортированные отходы. Во время написания данной работы указанная директива все еще находилась на этапе разработки.

Финская ассоциация по биоэнергии (FINBIO) разработала и издала "Пособие по обеспечению качества утилизируемого топлива" (FINBIO 1998) для пробного использования производителями, пользователями и государственными органами. Целью пособия являлась стандартизация терминологии по утилизируемому топливу и создание классов утилизируемого топлива. FINBIO также представляет рекомендации по процессам подготовки и обработки топлива (например, уменьшению фракций и измельчению, удалению металлических примесей, отделению стеклянных и керамических материалов, мелких фракций и крупного кускового материала, а также переработке в однородный топливный продукт), обязательствам и ответственности, процедурам уведомления.

Свойства сырьевых материалов, используемых в качестве утилизируемого топлива, в значительной степени варьируются в связи с тем, что эти материалы поставляются из различных источников. Классы качества, предложенные FINBIO, определяют свойства, которые оказывают значительное воздействие на применение твердого топлива, и свойства, по которым утилизируемое топливо может отличаться от других видов твердого топлива. Параметры этих трех классов утилизируемого топлива (RF 10, RF 15, и RF 20) в пункте доставки представлены в табл. 3.4. Свойства, представленные в пунктах 1-5, имеют решающее значение при определении класса качества; пункты 6 и 7 относятся к практическому применению топлива.

В настоящее время Европейский Союз осуществляет подготовку директивы, определяющей требования к условиям сжигания отходов. На момент написания настоящей работы (декабрь 1999 г.) незагрязненные отходы древесины или чистые доски, используемые в строительстве, в директиву включены не были. Однако загрязненную древесину и древесину, обработанную химикатами, включая древесноволокнистые плиты, древесностружечные плиты, окрашенную древесину, запрещается сжигать в печах обычного типа; для их сжигания следует использовать специальные печи. Согласно расчетам для того, чтобы обеспечить требуемые экономическую эффективность и уровень производительности таких специальных печей, в них необходимо сжигать от 20 000 до 50 000 т отходов в год. Что касается технических условий процесса сжигания, то, например, адгезивные вещества, содержащиеся в древесностружечных плитах, могут вызывать ошлакование поверхностей теплопередачи в таких специальных печах.

Таблица 3.4. Классы качества для утилизируемого топлива RF 10, RF 15, и RF 20 (FINBIO 1998).

№ п/п	Свойство	Предельное значение	Единица	Точность	Классы качества и соответствующие предельные значения			Периодичность определения
					RF 10	RF 15	RF 20	
					RF 10	RF 15	RF 20	минимальная
1	Низшая теплотворная способность при получении, $Q_{нтс, пп}$	поставленной партии, минимальное	МДж/кг	0,1	10,0	15,0	20,0	1 х / поставленную партию
2	Влажность при получении, $M_{пп}$	поставленной партии, максимальное	вес. %	0,1	40,0	30,0	30,0	1 х / поставленную партию
3	Зольность сухого вещества, A_d	валовой пробы, максимальное	вес. %	0,1	15,0	15,0	10,0	1 х / месяц
4	Содержание серы в сухом веществе, S_d	валовой пробы, максимальное	вес. %	0,01	0,30	0,40	0,50	1 х / месяц
5	Содержание хлора в сухом веществе, Cl_d	валовой пробы, максимальное	вес. %	0,1	0,5	0,6	0,7	1 х / месяц
6.1	Размер частиц	нагрузки: уставка, <95 вес. %	мм	10	60	60	60	по мере необходимости
			мм	10	80	80	80	
6.2	Крупные фракции	нагрузки: максимальное, 1 вес. % ²)	мм	10	300	300	300	по мере необходимости
7	Объемная плотность, $D_{пп}$	нагрузки	кг/объемный м ³	10	100-300	100-300	50-500	по мере необходимости
	Гранулы	нагрузки	кг/объемный м ³	10	300-500	300-500	300-500	по мере необходимости

Древесину, перед тем как использовать ее в качестве топлива, раскалывают или измельчают. Например, в Финляндии имеется несколько установок, использующих древесные отходы в качестве побочного топлива, при этом доля древесных отходов в конечной продукции составляет от 5 до 20%. Многие из этих установок расположены на предприятиях лесной промышленности. Значительная часть энергии из отходов вырабатывается на действующих муниципальных энергетических установках или установках систем централизованного теплоснабжения. По данным VTT Энержи (VTT Energy) в Финляндии имеется более 20 котельных установок, осуществляющих совместное сжигание отходов, отсортированных в источнике происхождения (главным образом промышленных упаковочных материалов или древесины, полученной при разрушении и сносе зданий и сооружений) с торфяным и древесным топливом. В целом от 5 до 15% общего объема потребления топлива котельными установками приходится на отходы (Alakangas et al. 1998). Имеется несколько специальных установок, предназначенных для сжигания утилизируемого топлива. Как правило, на участках разрушения и сноса зданий и сооружений используются передвижные дробилки, которые на месте осуществляют переработку отходов. В связи с отсутствием подробных статистических данных и соответствующей классификации достаточно сложно определить точное годовое количество древесных отходов, используемых в качестве топлива. Например, в Финляндии ежегодно используется около 410 000 т утилизируемого топлива, из которого на долю древесины приходится от 20 до 30% (более 100 000 т в год).

3.5 ТОРГОВЛЯ ДРЕВЕСНЫМ ТОПЛИВОМ

За последние несколько лет, в конце 1990-х гг. резко увеличились объемы торговли утилизируемым топливом и другими видами биотоплива. Швеция занимает ведущее место в Европе по объему импортируемого древесного топлива. Это объясняется высокими налогами на ископаемые виды его (так называемый налог на CO₂), наличием развитой сети установок, осуществляющих сжигание древесного топлива (например, в системах централизованного теплоснабжения, активно развиваемых в течение последних двадцати лет), а также мерами в рамках общей политики шведского правительства, направленными на поддержку развития использования древесного топлива. Этому также способствовало принятие некоторыми европейскими странами с высокой плотностью населения более строгого законодательства, регулирующего использование отходов, например Германией, где существует система маркировки упаковки "Grüne Punkt" ("Зеленая точка"), и Нидерландами. Низкая стоимость производства древесины и целлюлозы в Балтийском регионе также оказывает воздействие на рынки древесного топлива, особенно в Швеции (Hillring & Vinterback 1999).

Данные, приведенные в табл. 3.5, иллюстрируют быстрые темпы развития импорта Швецией биотоплива и древесного топлива. По-прежнему преобладает использование древесного топлива в домашних хозяйствах, однако в последние годы импорт древесного топлива становится важным источником сырья, особенно в секторе систем централизованного теплоснабжения, в котором доля импортного топлива составляет 1/4 общего объема поставок биотоплива. Энергетические налоги являются одним из наиболее мощных политических инструментов поддержки развития этой сферы (Hillring & Vinterback 1999).

Таблица 3.5. Импорт освобожденных от налогов видов топлива (т.е. биотоплива) в Швецию в 1990 гг. (Hillring & Vinterback 1999).

	1992	1995	1997
Биотопливо (ПДж)	2-4	11-15	15-24
Приблизительная доля древесного топлива (%)	20 (оценочные данные)	33-45	44-62

Торговля биотопливом в Европе регулируется протоколом ЕС, в соответствии с которым отходы подразделяются на три основные категории: зеленые, желтые и красные. Странам ЕС разрешается осуществлять свободную торговлю отходами, включенными в категорию зеленых. В эту группу входят таловое масло, гранулированная древесина, незагрязненная древесина, полученная при разрушении и сносе зданий и сооружений, зеленая древесная щепа, торф, солома зерновых культур, резиновые шины. Можно предположить, что в будущем объем торговли биотопливом, и особенно древесным топливом, будет возрастать (Hillring & Vinterback 1999).

4. ВИДЫ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

4.1 ТОПЛИВНАЯ ДРЕВЕСИНА

4.1.1 Общие положения

Топливная древесина является традиционным источником энергии, используемой для отопления и приготовления пищи в домашних хозяйствах, в особенности в сельской местности, где источники топливной древесины находятся рядом с местом проживания и, следовательно, являются легко-



Рис. 4.1. Запущенный молодой лес с маломерными деревьями — отличный источник дровяной древесины (фотография: BENET).

доступными (рис. 4.1). На протяжении столетий мастера-печники сооружали каменные каминные и печи достаточно сложной конструкции. Например, в Швеции сохранились облицованные керамической плиткой каминные 18-го столетия, в которых происходило смешение дымовых газов и обеспечивались хорошая теплопередача и достаточно высокий КПД в конструкции с вертикальными каналами и хорошей теплоаккумулирующей способностью. Спрос на печи и каминные, снизившийся после перехода на системы отопления, использующие электроэнергию и нефтяное топливо, снова значительно повысился в 1990-х гг. Например, в финских домах и домашних хозяйствах имеется от 1,3 до 1,4 млн. каминных, использующих древесное топливо, и ежегодно сооружается около 35 тыс. новых каминных. Только в Финляндии ежегодно сжигается около 5,6 млн. плотных м³ дровяной древесины. Доля промышленной или продаваемой древесины составляет 1 млн. м³. Остальная используемая древесина поступает из собственных или соседних лесов в виде так называемых древесных отходов. В последние годы в 80% всех новых домов, главным образом по экологическим причинам, сооружались теплоаккумулирующие каминные (Mutanen 1999, Pirinen, 1997).

Одновременно с ростом спроса на каминные и печи, использующие древесину в качестве топлива, возрастает спрос на древесное топливо и увеличиваются объемы торговли топливной древесиной. В то же время возрастает значение классификации качества, определяющей условия измерения параметров древесного топлива. В связи с этим в рамках Программы исследования биоэнергии (см., например, Pirinen 1997) Институтом эффективности труда Финляндии были разработаны методические рекомендации по определению качества и измерению количества промышленного древесного топлива. В методических рекомендациях, озаглавленных "Пособие по обеспечению качества колотой дровяной древесины", опубликованных Финской ассоциацией биоэнергии (Pirinen, 1998), рекомендуется использовать эти методические указания при торговле колотой дровяной древесиной и установлении цен на нее в Финляндии. Аналогичные модели могут также использоваться в других странах.

Как правило, дровяную древесину, применяемую в качестве топлива для домашних каминных, распиливают на отрезки длиной 25 см, 33 см и 50 см, которые затем раскалывают на поленья (рис.

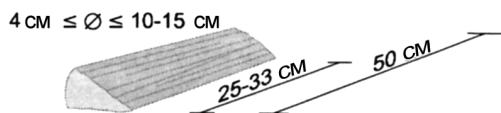


Рис. 4.2. Типичные размеры колотой дровяной древесины (источник: Motiva).

4.2). В настоящем пособии мы описываем финскую систему обеспечения качества (Pirinen, 1998) и используем ее в примере определения класса (классификации) качества, определения теплотворной способности и измерения количества древесного топлива. Также приводится пример контракта на поставку древесного топлива.

4.1.2 Классы качества

В соответствии с классификацией Пиринена (Pirinen, 1998b) колотая дровяная древесина подразделяется на три класса (табл. 4.1). Классификация осуществляется с учетом следующих параметров: вид дерева, влажность, поверхность поперечного среза, качество колки, чистота, цвет, возможное присутствие плесени или гнили. Если при определении класса партии дровяной древесины несколько

параметров имеют показатели более низкого качества, то эту партию относят к более низкому классу качества. Цена дровяной древесины определяется в основном ее качеством, но также зависит от размеров партии, расстояния транспортировки, средств доставки и метода упаковки.

Таблица 4.1. Предлагаемая классификация качества колотой дровяной древесины (Pirinen, 1998b).

Параметры качества колотой дровяной древесины	КЛАСС КАЧЕСТВА		
	Первый класс	Второй класс	Третий класс
Вид дерева¹ - береза (<i>Betula pendula</i> , <i>Betula pubescens</i>) - листопадные деревья ² (широколиственные) - хвойные деревья ³	- Не допускается присутствие других видов деревьев - Не допускается присутствие хвойных деревьев - Допускается присутствие широколиственных деревьев без ограничений	- Не более 5% количества других широколиственных деревьев - Не более 5% хвойных деревьев - Допускается присутствие широколиственных деревьев без ограничений	- Не более 10% количества других широколиственных деревьев - Не более 5% хвойных деревьев - Допускается присутствие широколиственных деревьев без ограничений
Допуск по длине⁴	± 2 см (± 1 см ⁵)	± 4 см (± 3 см ⁵)	± 6 см (± 4 см ⁵)
Диаметр колотого полена	4-10 см	4-12 см	4-15 см
Влажность⁶	Не более 20%	Не более 25%	Не более 30%
Поверхность среза	Ровная, прямая ⁷	Допускаются неровности и шероховатость ⁸	Допускаются неровности и шероховатость ⁸
Доля не полностью расколотой древесины и древесины с корой в общем объеме	Не более 5%	Не более 15%	Не более 25%
Чистота	Не допускается присутствие инородных материалов ⁹	Не допускается присутствие инородных материалов ⁹	Не допускается присутствие инородных материалов ⁹
Гниль	Не допускается	Допускается присутствие отдельных пятен	Допускается незначительное присутствие отдельных пятен
Цвет¹⁰	Не допускается нарушений цветности	Допускаются незначительные нарушения цветности	Допускается нарушение цветности
Плесень	Не допускается	Допускается присутствие не более 5% твердой гнили от общего объема	Допускается присутствие не более 5% твердой гнили и не более 1% мягкой гнили от общего объема

¹ не относится к смешанной дровяной древесине;

² предполагается, что представлены в основном осинной (*Populus tremula*) и ольхой (*Alnus incana*);

³ представлены пихтой (*Pinus silvestris*) и елью (*Picea abies*);

⁴ при длине полена от 33 до 50 см;

⁵ при длине полена 25 см;

⁶ доля влаги в общей массе дровяной древесины;

⁷ предполагается распил лезвием пилы (например, циркулярной пилой);

⁸ разрез может быть произведен ножом или так называемым гильотинным резакком;

⁹ камни, металлические предметы, пластиковые материалы, химикаты и другие вредные вещества, лед и снег;

¹⁰ применяется при оценке топливной древесины, предназначенной для сжигания в домашних каминах с целью создания уютной обстановки и положительных эмоций.

4.1.3 Измерение количества колотой древесины

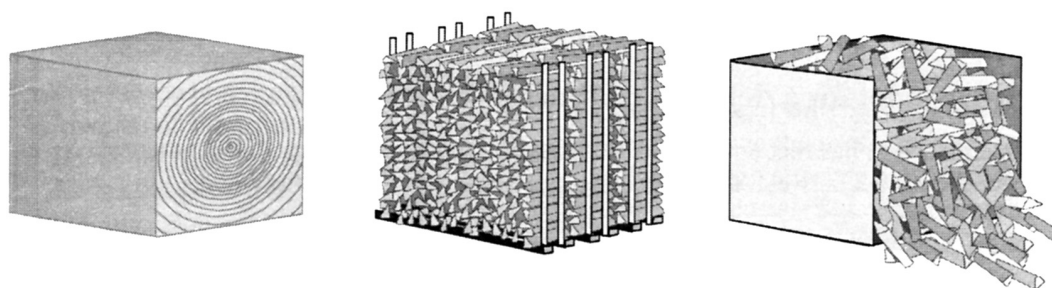
Количество колотой дровяной древесины обычно указывают в насыпных или размерных кубических метрах (штабельных кубических метрах). При измерении насыпного объема количество дровяной древесины измеряется в транспортировочном ящике или на грузовой платформе, в которых дровяная древесина уложена в случайном порядке. Измеряют высоту, длину и ширину ящика или платформы и затем определяют их размерный объем. При определении размерного объема насыпной древесины в штабеле измеряют высоту, длину и ширину штабеля дровяной древесины и затем определяют насыпной или штабельный объем в штабеле. При этом длина полена принимается за длину штабеля.

Плотный кубический метр, который не используется в качестве единицы измерения в практической торговле дровяной древесиной, применяется в качестве контрольной единицы при определении коэффициента преобразования для насыпного и штабельного объемов. Долю плотного объема в размерном объеме называют объемной плотностью. Средняя насыпная объемная плотность дровяной древесины составляет 0,40% и обычно варьирует в пределах значений 0,36-0,47. Соответственно средняя штабельная объемная плотность дровяной древесины составляет 0,67% и варьирует в пределах значений 0,64-0,75. Факторы, оказывающие воздействие на штабельную плотность топливной древесины, включают метод штабелирования древесины, размеры поленьев, число закруглений и неровностей, количество ветвей, имеющихся на древесине. В табл. 4.2 указаны коэффициенты пересчета для различных методов измерения количества топливной древесины (Pirinen, 1997).

Таблица 4.2. Коэффициенты пересчета объемов колотой топливной древесины (Pirinen, 1997).

	Насыпной м ³	Штабельный м ³	Плотный м ³
1 насыпной м ³	1,00	0,60	0,40
1 штабельный м ³	1,68	1,00	0,67
1 твердый м ³	2,50	1,49	1,00

На рис. 4.3 также представлены значения объема для различных методов учета топливной древесины.



$$1 \text{ плотный м}^3 = 1,49 \times \text{число штабельных м}^3 = 2,5 \times \text{число насыпных м}^3$$

Рис. 4.3. Значения объемов колотой топливной древесины (Источник: Motiva).

4.1.4 Теплота сгорания (теплотворная способность)

В табл. 4.3 приведены средние значения теплоты сгорания дровяной древесины в зависимости от вида дерева и влажности.

Таблица 4.3. Средние значения теплоты сгорания дровяной древесины на насыпной кубический метр и штабельный кубический метр в зависимости от вида дерева и влажности.

Вид дерева	Влажность, %	Теплота сгорания, кВт·ч/насыпной м ³	Теплота сгорания, кВт·ч/штабельный м ³
Береза (<i>Betula sp.</i>)	0	1040	1750
	10	1030	1730
	20	1010	1700
	30	990	1660
	40	970	1620
	50	930	1550
Смешанные широколиственные леса ¹	0	790	1330
	10	780	1310
	20	760	1280
	30	740	1250
	40	720	1200
	50	680	1140
Смешанные хвойные леса ²	0	830	1380
	10	810	1360
	20	800	1340
	30	780	1310
	40	760	1270
	50	720	1200

¹ Предполагается, что лес содержит 50% ольхи (в основном *Alnus incana*) и 50% осины (*Populus tremula*).

² Предполагается, что лес содержит 50% пихты (*Pinus silvestris*) и 50% ели (*Picea abies*).

4.1.5 Образец контракта на поставку колотой дровяной древесины

Пиринен (Pirinen, 1998) рекомендует использовать следующую примерную форму контракта между продавцом и покупателем колотой древесины.

КОНТРАКТ НА ПОСТАВКУ КОЛОТОЙ ДРЕВЕСИНЫ	
1. Вид дерева:	Береза _____ Широколиственные деревья _____ Хвойные деревья _____ Другие _____
2. Длина:	25 см _____ 33 см _____ 50 см _____ Другая _____ см
3. Класс качества:	1 _____ 2 _____ 3 _____ Не классифицируется _____
4. Влажность:	_____ % Не определена
5. Количество:	_____ штабельных м ³ _____ насыпных м ³
6. Единичная цена:	_____ Евро/ штабельных м ³ _____ Евро/ насыпных м ³
7. Метод поставки:	Транспортировка продавцом _____ Доставка покупателем _____ Другие методы _____
8. Стоимость транспортировки:	_____ Евро
9. Общая цена партии дровяной древесины в пункте доставки (включая НДС):	_____ Евро
10. Дата поставки:	_____
11. Покупатель:	_____
Адрес:	_____
Почтовый код и город:	_____
Телефон:	_____
12. Продавец:	_____
Адрес:	_____
Почтовый код и город:	_____
Телефон:	_____
13. Дата заказа	_____
14. Дополнительная информация	_____

4.2 ЩЕПА

4.2.1 Общее описание

Щепа представляет собой древесину, переработанную (резкой или измельчением) в более мелкие фракции с помощью специальных машин для дальнейшего использования, например в производстве энергии. Типичная длина древесной щепы, пригодной для сжигания, например, в топках котлов малой мощности, используемых для теплоснабжения домов, составляет 1-3 см. Однако, как правило, производимая щепа имеет размеры, соответствующие потребностям заказчика независимо от видов используемого сырья. Сырье может включать лесосечные отходы, большие деревья, части деревьев, корни и т.д.

Процесс производства щепы и машины для производства щепы описываются в разделе 5 ("Методы заготовки и производства древесного топлива").

В зависимости от происхождения древесной щепы она может быть разделена на следующие группы:

- ◆ лесная щепа;
- ◆ общий термин, обозначающий щепу, произведенную из заготовленного лесного древесного сырья;
- ◆ щепа из бревен (щепа из долготья);
- ◆ щепа из очищенной от сучьев древесины;
- ◆ щепа из целых деревьев;
- ◆ щепа, полученная из наземной биомассы деревьев (часто маломерных), включая ствол, ветви, хвою/листву;
- ◆ щепа из лесосечных отходов;
- ◆ щепа, полученная из ветвей, вершин, подроста после заготовки товарного леса;
- ◆ щепа из пней;
- ◆ щепа из пней или сучьев;
- ◆ щепа из древесных отходов;
- ◆ щепа, произведенная из необработанных отходов промышленной древесины (деревянных реек, отрезков и т.д.);
- ◆ щепа из лесопильных отходов;
- ◆ щепа из побочных продуктов лесопильного производства (включая или не включая кору);
- ◆ строгальная щепа;
- ◆ древесные отходы, образуемые при строгании лесоматериалов (Impola, R. et al. 1998).

Характеристики различных видов древесной щепы подробно описываются в главе 4.4.

4.2.2 Щепа из лесосечных отходов

Как указывалось в главе 3, лесосечные отходы являются крупнейшим потенциальным источником древесной энергии. Как правило, лесосечные отходы перерабатывают в щепу или измельчают с использованием, соответственно, рубительных машин или дробилок. Щепа, полученная из лесосечных отходов, содержит различные количества стволовой древесины, листья, ветвей, и коры. Она также содержит различные количества так называемых стволовых отходов. Ветви по сравнению с чистой стволовой древесиной, например в данном случае пихты (*Pinus silvestris*) и ели (*Picea abies*), имеют следующие характеристики:

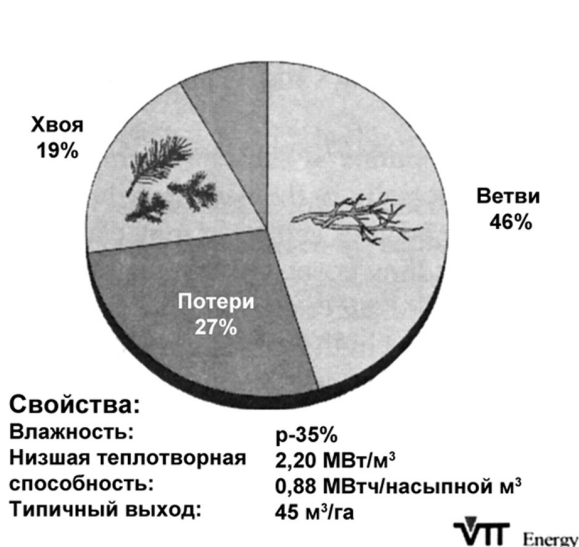
- ◆ высокое содержание коры;
- ◆ высокое содержание лигнина и низкое содержание целлюлозы, что увеличивает теплоту сгорания, которая превышает теплоту сгорания стволовой древесины;
- ◆ более высокое содержание терпенов, танинов, смол, воска и жирных веществ, определяющее более высокую по сравнению со стволовой древесиной теплоту сгорания;
- ◆ большее содержание минеральных веществ и золы, особенно в хвое, что снижает теплоту сгорания и может приводить к дополнительным затратам (с другой стороны, высокое содержание щелочи в золе может оказывать благоприятное воздействие при совместном сжигании древесины и

торфа, так как щелочные металлы связывают содержащуюся в торфе серу и, следовательно, могут повышать потенциал использования древесного топлива);

- ♦ более высокая плотность древесных веществ, чем в стволовой древесине, что определяет более высокую по сравнению со стволовой древесиной теплоту сгорания;
- ♦ более низкая плотность;
- ♦ хвоя содержит некоторые минеральные вещества, которые при сжигании могут оказывать вредное воздействие, например натрия (Na) и хлор (Cl) могут вызывать коррозию котла (Hakkila 1998).

На рис. 4.4. показан состав свежих и подсушенных еловых лесосечных отходов. Можно видеть, что не имеется значительных различий в энергосодержании между зеленым и подсушенным лесоматериалом, т.е. между зелеными и бурыми лесосечными отходами.

ПОДСУШЕННЫЕ ЛЕСОСЕЧНЫЕ ОТХОДЫ



СВЕЖИЕ ЛЕСОСЕЧНЫЕ ОТХОДЫ



Рис. 4.4. Состав свежих и подсушенных еловых лесосечных отходов (Alakangas et al. 1999).

Лесосечные отходы (щепа), предназначенные для использования в качестве топлива, имеют следующие основные характеристики:

- ♦ являются крупнейшим потенциальным источником древесной энергии;
- ♦ состоят в основном из листвы и вершин деревьев;
- ♦ могут заготавливаться в процессе промышленной заготовки, осуществляемой предприятиями лесной промышленности;
- ♦ имеют конкурентоспособные цены;
- ♦ заготовка лесосечных отходов имеет ограниченное положительное воздействие на лесоводство;
- ♦ использование лесосечных отходов оказывает положительное воздействие на окружающую среду;
- ♦ имеют высокую зольность.

4.2.3 Щепа из бревен (щепа из долготья)

В последние годы произошли значительные изменения как в качестве лесной щепы, так и в методах ее использования на установках конечных пользователей. Раньше большую часть составляла щепа, производимая из сухих, очищенных (долготье) или не очищенных (целые деревья) от сучьев маломерных деревьев для использования на установках малой мощности (рис. 4.5). В настоящее время крупнейшим источником щепы являются, как указывалось выше, лесосечные отходы, образующиеся в процессе рубок елового древостоя (рубки главного пользования). Чтобы повысить производительность и экономическую эффективность заготовок маломерных деревьев, используемых в качестве топлива, необходимо исключить высокозатратную фазу очистки деревьев от сучьев.

Однако длинномерный сортимент (или очищенные от сучьев бревна) требуется для производства топливной древесины. Также качество щепы, полученной из такого длинномерного сортимента или из бревен, даже выше, чем качество щепы из целых деревьев, которая содержит различные количества ветвей и листвы.

Высокая степень ветвистости, в особенности стволов целых деревьев хвойных пород, может затруднять переработку их в щепу и снижать качество щепы в связи, например, с увеличением количества щепок. Чаще всего щепки встречаются в щепе, полученной из березы и ивы, не очищенных от сучьев. Эти длинные частицы создают наиболее серьезные проблемы, например в системах подачи топлива котельных установок. С другой стороны, влажные мелкие частицы с высоким содержанием пылевидных частиц и хвои могут слеживаться и также создавать серьезные проблемы при подаче топлива. Необходимым условием обеспечения высокого равномерного качества древесной щепы являются острота ножа, а также правильные угол и регулировка ножа (Ruunanen 1996).

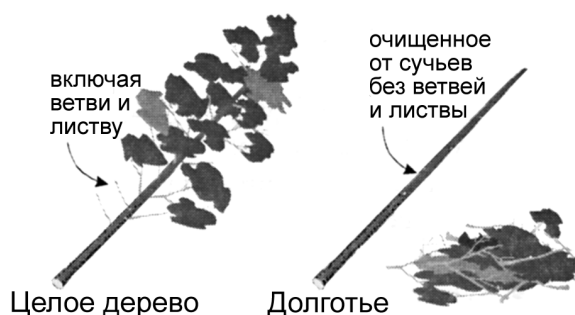


Рис. 4.5. Маломерное целое дерево и длинномерный сортимент (долготье).

4.3 ПОБОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Кора, опилки и строгальная щепка, являющиеся побочными продуктами деревообрабатывающего производства, образуют основной источник древесного топлива. Влажность коры и опилок может достигать 60%. Высокая влажность может затруднять сжигание этих материалов в традиционных котлах установок теплоснабжения. Характерные для коры большие размеры частиц также предъявляют дополнительные требования к техническим характеристикам установок. Типичные значения характеристик промышленных песочных продуктов приводятся в разделе 4.4, посвященном описанию свойств необработанного древесного топлива.

Производство пиломатериалов	прибл. 220 000 м³
♦ Кора хвойных деревьев	прибл. 120 000 м ³
♦ Опилки	прибл. 180 000 насыпных м ³
♦ Щепка и опилки из сухой древесины	прибл. 60 000 м ³
Общее энергосодержание	прибл. 230 000. МВт·ч
Энергопотребление лесопильного предприятия	
♦ Теплоснабжение	55 000 МВт·ч
♦ Электроэнергия (закупается)	17 000 МВт·ч
♦ Заготовка и транспортировка лесоматериалов (топливо)	25 000 МВт·ч
Общее потребление энергии	97 000 МВт·ч
Энергетический баланс лесопильного предприятия	
♦ Собственные источники возобновляемого древесного топлива	230 000 МВт·ч
♦ Общее потребление энергии в производственной цепочке "от пня до порта экспорта"	97 000 МВт·ч
Избыток энергии	133 000 МВт·ч, или 58%

Следующие данные, характеризующие источники энергии, энергопотребление и энергобаланс лесопильного предприятия с годовым объемом производства продукции, составляющим 220 000 м³ пиломатериалов, свидетельствуют об энергетической самодостаточности типичного предприятия механической обработки древесины лесной промышленности.

Затраты, связанные с транспортировкой на большие расстояния этого избыточного древесного топлива, имеющего высокие влажность и вес, превышают стоимость твердого топлива. Переработка опилок, например, в гранулы и брикеты позволила бы обеспечить оптимальное решение этой "проблемы" избыточной энергии. Подробное описание древесных гранул и брикетов как облагороженных видов древесного топлива приводится в разделе 4.6, а методов их производства – в разделе 5.6.

4.4 ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ТВЕРДОГО НЕОБЛАГОРОЖЕННОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

Финская ассоциация по биоэнергии (FINBIO) составила таблицы данных типичных значений характеристик необлагороженного древесного топлива. Данные, содержащиеся в табл. 4.4 и 4.5, отражают характерные различия между основными видами щепы.

Таблица 4.4. Характеристики различных видов древесного топлива и типичные диапазоны их значений (Imrola et al. 1988).

Характеристика	Лесосечные отходы	Щепа из целых деревьев	Щепа из бревен	Щепа из пней	Кора деревьев мягких пород	Березовая кора
Влажность, вес.% (зеленая щепа)	50-60	45-55	40-55	30-50	50-65	45-55
Низшая теплотворная способность сухого вещества, МДж/кг	18,5-20	18,5-20	18,5-20	18,5-20	18,5-20	21-23
Низшая теплотворная способность материала при получении, МДж/кг	6-9	6-9	6-10	6-11	6-9	7-11
Объемная плотность материала при получении, кг/насыпной м ³	250-400	250-350	250-350	200-300	250-350	300-400
Энергетическая плотность (МВт·ч/м ³) насыпного материала	0,7-0,9	0,7-0,9	0,7-0,9	0,8-1,0	0,5-0,7	0,6-0,8
Зольность сухого вещества, вес.%	1-3	1-2	0,5-2	1-3	1-3	1-3
Содержание углерода в сухом веществе (H), вес.%	6-6,2	5,4-6	5,4-6	5,4-6	5,7-5,9	6,2-6,8
Содержание серы в сухом веществе (S), вес.%	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Содержание азота в сухом веществе (N), вес.%	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3-0,5	0,5-0,8

Таблица 4.5. Характеристики различных видов древесного топлива и типичные диапазоны их значений (Imrola et al. 1988).

Характеристика	Щепа из древесных отходов	Щепа из отходов лесопиления	Опилки	Строгальная щепа	Шлифовальная пыль	Отходы фанеры	Утилизируемая древесина
Влажность, вес.%	10-50	45-60	45-60	5-15	5-15	5-15	15-30
Низшая теплотворная способность сухого вещества, МДж/кг	18,5-20	18,5-20	19-19,2	19-19,2	19-19,2	19-19,2	18-19
Низшая теплотворная способность материала при получении, МДж/кг	6-15	6-10	6-10	13-16	15-17	15-17	12-15
Объемная плотность материала при получении, кг/насыпной м ³	150-300	250-350	250-350	80-120	100-150	200-300	150-250
Энергетическая плотность (МВт·ч/м ³) насыпного материала	0,7-0,9	0,5-0,8	0,45-0,7	0,45-0,55	0,5-0,65	0,9-1,1	0,65-0,8
Зольность сухого вещества, вес.%	0,4-1	0,5-2	0,4-0,5	0,4-0,5	0,4-0,8	0,4-0,8	1-5
Содержание углерода в сухом веществе (H), вес.%	5,4-6,4	5,4-6,4	6,2-6,4	6,2-6,4	6,2-6,4	6,2-6,4	6-6,4
Содержание серы в сухом веществе (S), вес.%	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1
Содержание азота в сухом веществе (N), вес.%	0,1-0,5	0,1-0,5	0,1-0,5	0,1-0,5	0,1-0,5	0,1-0,5	0,1-0,5

4.5 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА И КЛАССИФИКАЦИЯ ТВЕРДОГО НЕОБЛАГОРОЖЕННОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

4.5.1 Общие положения

Свойства топлива играют важную роль при проектировании систем, предназначенных для заготовки, транспортировки, подготовки, обработки топлива и преобразования в энергию. Как указывалось ранее, в настоящее время производители машин и оборудования, используемых в процессах поставки и производства энергии, осуществляют свою деятельность на международных рынках, и объем международной торговли твердыми видами биотоплива постоянно увеличивается (Altener 1997).

В настоящее время между странами Европейского Союза имеются значительные различия в уровне стандартизации. Некоторые государства только недавно или в течение последних двух лет начали рассматривать возможность разработки стандартов, определяющих требования к отбору и анализу проб, в то время как другие уже развернули активную деятельность в сфере стандартизации биотоплива. Североевропейские страны и Австрия выполнили наибольший объем работы по разработке стандартов, определяющих требования к древесному биотопливу, что отражает значение древесины как топлива для этих стран. Германия и Великобритания также осуществляют определенную деятельность в этой сфере (Европейский комитет по стандартизации – ЕКС – 1999).

В конце 1996 г. Европейская комиссия (ЕК) приступила к предварительной работе по стандартизации твердого биотоплива. Основной целью этой работы является сбор и анализ данных, необходимых для разработки европейских стандартов по твердому биотопливу. Результаты этого проекта будут использованы ЕКС при реализации "Задач развития" (Programming Mandate), поставленных Европейской комиссией (ЕК 1999).

В этой главе дается описание ряда систем классификации твердого необлагороженного древесного топлива, принятых в различных европейских странах. Стандарты, определяющие требования к облагороженным видам топлива, описываются в разделе 4.7.

4.5.2 Финские системы классификации качества твердого необлагороженного древесного топлива

Финская ассоциация по биоэнергии (FINBIO) выпустила "Пособие по обеспечению качества твердого биотоплива" (Impola R. et al. 1988) с целью "определения методов, обеспечивающих надлежащие и однозначные представление и запись данных о качестве и количестве древесного топлива, топливной щепы, опилок и коры". В пособии определяются требования только к чистому древесному топливу и не рассматривается химически обработанная, имеющая покрытие или окрашенная древесина. Пособие предназначено в основном для использования в качестве дополнения к контрактам, заключаемым при осуществлении операций по торговле древесным топливом. Пособие может также использоваться проектировщиками топливных установок и оборудования и производителями топлива. Одним из документов, стимулирующих развитие в этой сфере, является "Белая книга по возобновляемым источникам энергии" (1977) ЕС, направленная на развитие торговли биотопливом в Европе, что также требует введения стандартизированных систем обеспечения качества.

В табл. 4.6 представлены классы качества различных видов топлива согласно классификации Импола и др. (Impola et al. 1988). Приводятся предельные значения характеристик плотности энергии, влажности и размеров частиц древесного топлива, содержащегося в полученной партии. Величина плотности энергии зависит от величины низшей теплотворной способности, влажности, объемной плотности и размеров частиц древесного топлива. При выборе предельных значений плотности энергии следует учитывать взаимозависимость различных характеристик для выполнения расчета с использованием типичных значений характеристик различных видов топлива, приведенных в табл. 4.4 и 4.5.

Таблица 4.6. Таблица качества различных видов древесного топлива согласно классификации Импола et al. (Impola et al. 1988).

Плотность энергии в материале при его получении, МВт·ч/м³ объемной плотности, минимальное значение

	Щепа	Опилки	Кора
E1	0,9	0,7	0,7
E2	0,8	0,6	0,6
E3	0,7	0,5	0,5
E4	0,6	0,4	0,4

Влажность, вес.%, максимальное значение

	Щепа	Опилки	Кора
K1	40	30	40
K2	50	50	50
K3	60	60	60
K4	65	65	65

Размер частиц, 95%<mm

	Щепа	Опилки	Кора
P1	30	5	60
P2	45	10	100
P3	60	20	200
P4	100	30	Неотделенная (неснятая)

В случаях, когда поставляются различные смеси древесного топлива (например, кора/опилки, технологическая щепа/шлифовальная пыль/другие древесные отходы), стороны должны договориться о методах классификации качества и определения характеристик качества. Следует также определить требования к методам использования топлива и технике безопасности. Импола и др. (Impola et al. 1988) также указывает, что предельные значения других характеристик топлива можно определять применительно к конкретному случаю (например, механических характеристик — таких, как размеры крупных частиц). Особое внимание следует уделять степени однородности содержания влаги, которая является одной из наиболее важных характеристик с точки зрения пользователя. Стороны должны отдельно рассмотреть и оговорить условия, относящиеся к сезонным колебаниям свойств материалов. Пособие также содержит подробное описание методов определения ряда характеристик качества, отбора, подготовки и анализа проб (Impola et al. 1988).

4.5.3 Австрийские стандарты по древесной щепе и коре

В Австрии (табл. 4.7) приняты следующие стандарты, определяющие требования к использованию необлагороженного твердого древесного топлива, щепы и коры (Altener 1997):

ONORM M 7132 "Энергетически эффективное использование древесины и коры в качестве топлива — определения и свойства";

ONORM M 7133 "Древесная щепа для производства энергии — требования и условия испытаний".

Категории объемной плотности определяются по характеристикам объемной плотности в безводном состоянии. К категории материалов с низкой объемной плотностью (до 160 кг/м³) относится, например, щепа из тополя, ивы и ели, а к категории материалов с высокой объемной плотностью (от 160 до 200 кг/м³) — такие древесные материалы, как щепа из сосны, лиственницы и ольхи. Древесина деревьев твердых пород, таких как береза, дуб и белая акация, принадлежит к категории материалов высокой плотности (более 200 кг/м³) (ЕКС 1999).

Различают два класса зольности. Древесная щепа с низким содержанием коры имеет зольность до 0,5%, а зольность древесной щепы с более высоким содержанием коры составляет от 0,5 до 2,0% (Altener 1997).

Таблица 4.7. ONORM M 7133 "Древесная щепа для производства энергии – требования и условия испытаний" (ЕКС 1999).

Частицы древесной щепы	Характеристика	Размерный класс		
		G30 мелкий	G50 средний	G100 крупный
	Площадь поперечного сечения (см ²)	3,0	55,0	10,0
	Макс. длина (см)	8,5	12,0	25,0
	Размер сита (мм)	16,0	31,5	63,0
Основной материал (60-100%)	Размер сита (мм)	2,8	5,6	11,2
Материал, содержащий мелкие частицы (включая очень мелкие частицы - до 20%)	Размер сита (мм)	1,0	1,0	1,0

4.5.4 Датская система классификации древесной щепы

Принятая в Дании классификация древесной щепы предусматривает разделение древесной щепы на два класса – класс крупной щепы и класс мелкой щепы (табл. 4.8). На различных установках по производству энергии используются различные допустимые значения влажности (ЕКС 1999).

Таблица 4.8. Принятая в Дании классификация древесной щепы (Altener 1997).

Распределение размеров	Мелкая щепа	Крупная щепа
45 мм	<5%	<15%
8 мм	<25%	<40%
7 мм	>40%	>23%
3 мм	<20%	<15%
Пыль	<10%	<7%
Отрезки, 10-20 см (диаметр >ø1 см)	<2%	<12%
Отрезки, >20 см (диаметр >ø1 см)	<0,5%	<6%

4.5.5 Шведская система классификации древесной щепы

В Швеции отсутствуют стандарты, определяющие требования к необлагороженной древесной щепе. Как правило, котельные установки оговаривают требования к характеристикам топлива в отдельных контрактах. Типичные значения характеристик (ЕКС 1999):

"Зеленая древесина":

Влажность	40-50%
Зольность	1-3%
Низшая теплотворная способность	2,3 МВт·ч
Длина	100-300 мм

"Сухая древесина":

Влажность	<15%
-----------	------

4.5.6 Классификация древесной щепы в Великобритании

В настоящее время в промышленном секторе Великобритании обсуждаются вопросы, связанные с принятием стандартов, определяющих требования к древесному топливу, и осуществляются испытания рубительных машин. Возможно, будет принята система классификации щепы по характеристикам качества и теплотворной способности, устанавливающая основные классы А, В, С,

определяющие размеры, форму и содержание щепы (ЕКС 1999), а также классы по влажности (Altener 1997):

- 1 < 25%
- 2 от 26 до 40%
- 3 от 41 до 60%.

На практике, например, класс А1 будет включать мелкую, однородную по размерам сухую щепу, а класс С3 – крупную зеленую или влажную щепу с неоднородным размером частиц (ЕКС 1999).

4.6 ОБЛАГОРОЖЕННОЕ ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО

4.6.1 Гранулы

4.6.1.1 Что представляют собой древесные гранулы?

Древесные гранулы представляют собой облагороженное древесное топливо, произведенное из опилок (рис. 4.6), шлифовальной пыли, стружек, коры, строгальной щепы или путем сушки и прессования сырья – отходов переработки деревьев в пиломатериалы и другие древесные изделия. Обычно гранулы имеют цилиндрическую или шаровидную форму. В Швеции, где технология изготовления гранул интенсивно развивалась с 1980-х гг. и в особенности в 1990-е гг., производятся гранулы диаметром 6, 8, 10 и 12 мм. Гранулы, размер которых превышает 25 мм, называются брикетами. Длина гранул составляет от 10 до 30 мм. В некоторых случаях в качестве связующего материала используется лигнин (Pelletsklubben 1999, Vachs 1998, Lofgren 1999). Более подробное описание процесса изготовления гранул дается в главе 5.



Рис.4.6. Древесные гранулы, изготовленные из опилок (фотография: VENET/JSP).

Значения типичных характеристик древесных гранул приведены в табл. 4.9.

Таблица 4.9. Средние значения характеристик древесных гранул (Lofgren 1999, Pelletsklubben 1999, Eilavaara et al. 1999).

Характеристика	Единица измерения
Теплотворная способность (плотность энергии)	4,7-4,9 кВт·ч/кг (прибл. 2,1 т гранул = 1 м ³ дизельного топлива)
Плотность	650-700 кг/ м ³
Диаметр	6-14 мм
Длина	20-30 мм (обычно 4 x диаметр)
Зольность	0,4-1,0%
Влажность	7-12%

Энергия, необходимая для производства гранул, приблизительно на 10% превышает содержание энергии в самих гранулах, которая расходуется при сушке сырья. При использовании сухого сырья, например строгальной щепы, при производстве гранул затрачивается только 1-2% содержащейся в них энергии.

Улучшенное древесное топливо в форме гранулированной древесины имеет ряд преимуществ (Eilavaara et al. 1999, Pelletsklubben 1999):

- ♦ отсутствуют значительные колебания качества;
- ♦ гранулы имеют фиксированные характеристики, включая значение теплоты сгорания, что представляет практическое значение для пользователя и позволяет осуществлять оптимальную подачу топлива, обеспечивающую чистое горение;
- ♦ гранулы являются сухим материалом и имеют однородные размеры и форму, что облегчает процесс хранения и погрузочно-разгрузочные работы;
- ♦ гранулы имеют высокое содержание энергии или энергетическую плотность;

- ♦ гранулы пригодны для сжигания в установках малой и большой мощности;
- ♦ гранулы удобно хранить и перемещать даже в небольших домашних хозяйствах;
- ♦ гранулы могут доставляться заказчику как насыпной материал в автоцистернах и разгружаться с использованием пневморазгрузчика в бункер заказчика, аналогично тому, как производится разгрузка нефтяного топлива; гранулированная древесина также реализуется в мешках различного объема.

С точки зрения пользователя недостатком гранулированного топлива по сравнению с нефтяным топливом, используемым для производства тепла, является то, что гранулы требуют приблизительно в три раза больше места для хранения по сравнению с нефтяным топливом. Кроме того, при хранении на открытом воздухе гранулированное топливо поглощает влагу и смерзается (Eilavaara et al. 1999, Pelletsklubben 1999).

4.6.1.2 Применение гранулированной древесины в различных странах мира

Производство гранулированной древесины, как и производство многих других возобновляемых источников энергии, берет начало во времена нефтяного кризиса 1970-х гг. Потребители и представители промышленных кругов были вынуждены осознать, насколько возросла их зависимость от различных источников энергии, в особенности нефти. Практическое использование гранулированной древесины началось в середине 1980-х гг. Только в Швеции, "стране древесных гранул", ведущем производителе гранулированной древесины в Европе, ежегодно производится 625 000-700 000 т древесных гранул. По данным Центральной ассоциации шведских производителей древесных гранул (Pelletsindustriens Riksförbund), производственные мощности шведских предприятий по производству древесных гранул и брикетов составляют почти 1 млн. т топлива в год. Доля брикетов в общем объеме производства составляет около 100 000 т (Eilavaara et al. 1999).

Сжигание гранулированной древесины резко возросло, в особенности в южных и центральных районах Швеции, в период отопительных сезонов 1994 и 1995 гг., когда ряд установок комбинированного производства тепловой и электрической энергии был переведен со сжигания угля на сжигание гранулированной древесины. Котельные установки малой мощности также увеличили потребление гранулированного топлива, что привело к введению системы сертифицирования топков, предназначенных для сжигания древесных гранул. Эта система, имеющая название "P-маркинг" (P-marking), была разработана шведским национальным институтом испытаний и исследований (Lofgren 1999, Gustavsson et al. 1998).

В Швеции сохраняется значительный потенциал, позволяющий увеличить использование гранулированной древесины. В настоящее время только 10 000 домов используют гранулированную древесину в качестве топлива, в то время как число домов, отапливаемых с использованием нефтяного топлива или электричества, превышает миллион. Эти системы теплоснабжения легко можно либо полностью перевести на использование гранулированного топлива, либо использовать печи на гранулированном топливе в дополнение к теплоснабжению, осуществляемому с применением электрической энергии.

Северная Америка также является крупнейшим центром производства и потребления гранулированной древесины. В США около 500 000 домашних хозяйств используют (полностью или частично) древесные гранулы как основной источник тепловой энергии, и в США и Канаде имеется около 40 производителей гранулированной древесины и более 30 производителей печей и оборудования для сжигания гранулированного топлива. Число бытовых печей на гранулированном топливе возросло в США с 100 000 в 1992 г. до полумиллиона в 1997 г. (Eilavaara et al. 1999). Более 60 заводов по производству гранулированной древесины производят более 680 000 т гранулированного топлива в год (объем производства более чем удвоился за последние 5 лет). Чрезвычайно высокий уровень развития производства и потребления гранулированной древесины также подтверждает существование в Северной Америке ряда организаций, занимающихся вопросами развития сферы использования гранулированного древесного топлива, — таких, например, как Институт гранулированного топлива (ИГТ) и Ассоциация изготовителей гранулированного топлива ВС (BC Pellet Fuel Manufactures Association).

Несмотря на то, что эта отрасль развивается и в Финляндии, здесь применение гранулированной древесины не достигло такого уровня, как в Швеции. Во многом это объясняется существующим уровнем налогообложения и традиционным применением в качестве топлива побочных продуктов

предприятий механической обработки древесины, опилок, строгальной щепы и коры. В Финляндии существует только несколько производителей древесных гранул промышленных размеров, в то время как в северо-европейских странах (в основном в Швеции и Дании), а также странах Балтии действуют около 40 заводов по производству древесных гранул. Из-за ограниченного использования и низкого спроса на гранулированную древесину объем производства древесных гранул в Финляндии остается крайне низким (Eilavaara et al. 1999).

Однако, например, в верхней Австрии резко возросло число установок на гранулированном топливе, используемых в домашних хозяйствах. В Австрии расширению использования древесных гранул способствует деятельность таких проектов, как THERMIE и ALTENER (Egger 1999). Австрия, в которой годовой объем производства гранулированной древесины составляет от 50 000 до 60 000 т, является третьим крупнейшим производителем древесных гранул в Европе после Швеции и Дании.

4.6.2 Брикеты

Топливные брикеты состоят из торфа, опилок, щепы и технологической древесной пыли. Эти вещества являются побочными продуктами лесопильного производства и лесозаготовительных работ и включают вершины и ветви или щепу, полученные при прореживании, а также сельскохозяйственное сырье и другое биосырье, используемое в производстве топлива. Полученный материал подвергается прессованию при высокой температуре в брикетном прессе (SIS 1998).

Древесные брикеты имеют большие размеры по сравнению с размерами древесных гранул; диаметр древесных брикетов составляет около 65 мм, а длина от 25 до 200 мм. Для производства древесных брикетов используется то же сырье, что и для производства древесных гранул. Тепло-творная способность древесных брикетов составляет в среднем 4,8 МВтч/т, т.е. 1 кг брикетов равен 0,5 л нефти. Из-за больших размеров и высокой температуры горения брикеты непригодны для сжигания в топках котельных установок мощностью менее 500 кВт.

4.7 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ КАЧЕСТВА И СИСТЕМА КЛАССИФИКАЦИИ КАЧЕСТВА

В настоящей главе описываются различные системы классификации качества обогороженного древесного топлива, включая шведскую, австрийскую и немецкую. Например, в Финляндии в настоящее время отсутствует система классификации обогороженного древесного топлива, хотя и имеется развитая система классификации необогороженного древесного топлива.

4.7.1 Классификация топливных гранул и брикетов, принятая в Швеции

В Швеции имеется ряд производителей древесных гранул — от крупных заводов до мелких предприятий. В связи с быстрым развитием отрасли была разработана система классификации топливных гранул (предложение: шведский стандарт SS 18 71 20, 1998) с целью обеспечения равного качества производимых гранул. В соответствии с содержащимся в стандарте определением топливные гранулы состоят из мелкозернистого сухого материала (древесины, сельскохозяйственной биомассы, бумаги, фруктовых косточек, скорлупы орехов и т.д.) и должны иметь диаметр до 25 мм.

В соответствии со шведским стандартом древесные гранулы делятся на три класса качества, которые в основном различаются по значениям размеров и характеристик зольности. Как правило, зольность составляет от 0,4 до 1,0% и влажность — от 7 до 12%. Описание методов определения характеристик древесных гранул содержится в других шведских стандартах, определяющих требования к биотопливу, торфу (Biobranslen och torv) и твердому топливу (Fast branslen). Шведская система классификации древесных гранул приведена в табл. 4.10.

Шведский стандарт, определяющий требования к топливным брикетам, устанавливает два класса качества — для установок, используемых частными потребителями (группа 1), и установок большей мощности с автоматической подачей топлива (группа 2). Третий класс качества установлен для любых применений, в которых используются другие сырьевые материалы за исключением древесного топлива (табл. 4.11).

Таблица 4.10. Классификация топливных гранул, принятая в Швеции; предложение: шведский стандарт SS 18 71 20, 1998.

Характеристика	Метод определения	Единица	Группа 1	Группа 2	Группа 3
Размеры: диаметр, длина на складе производителя	Анализ не менее 10 отобранных произвольно проб	мм	данное значение до 4 * ø	данное значение до 5 * ø	данное значение до 5 * ø
Объемная плотность	SS 18 71 78	кг/м ³	≥600	≥500	≥500
Механическая прочность на складе производителя	SS18 71 80	мелкие фракции, вес.% <3 мм	≤0,8	≤1,5	>1,5
Низшая теплотворная способность (на объекте заказчика)	SS-ISO1928	МДж/кг	≥16,9	≥16,9	≥15,1
		кВт·ч/кг	≥4,7	≥4,7	≥4,2
Зольность	SS 18 71 71	вес.% сухого вещества	≤0,7	≤1,5	>1,5
Общее содержание влаги (на объекте заказчика)	SS 18 71 70	вес.%	≤10	≤10	≤12
Общее содержание серы	SS 18 77 77	вес.% сухого вещества	≤0,08	≤0,08	данное значение
Содержание примесей		вес.% сухого вещества	содержание и типы примесей		
Хлориды	SS 18 71 85	вес.% сухого вещества	≤0,03	≤0,03	данное значение
Температура плавкости золы	SS-ISO 540	°C	температура начала расплавления		

Таблица 4.11. Классификация топливных гранул, принятая в Швеции; предложение: шведский стандарт SS 18 71 23, 1998.

Характеристика	Метод определения	Единица	Группа 1	Группа 2	Группа 3
Размеры: диаметр, длина на складе производителя	Анализ не менее 10 отобранных произвольно проб	мм	данное значение не менее 25 мм >1/2 ø, до 300 мм	данное значение не менее 25 мм не менее 10 мм до 100 мм	данное значение, не менее 25 мм данное значение
Объемная плотность	SS 18 71 78	кг/м ³	≥550	≥450	≥450
Механическая прочность на складе производителя	SS18 71 80	мелкие фракции, вес.% <15 мм	≤8	≤10	>10
Низшая теплотворная способность (на объекте заказчика)	SS-ISO1928	МДж/кг	≥16,2	≥16,2	данное значение
		кВт·ч/кг	≥4,5	≥4,5	данное значение
Зольность	SS 18 71 71	вес.% сухого вещества	≤1,5	≤1,5	данное значение
Общее содержание влаги (на объекте заказчика)	SS 18 71 70	вес.%	≤12	≤12	≤15
Общее содержание серы	SS 18 77 77	вес.% сухого вещества	≤0,08	≤0,08	данное значение
Содержание примесей		вес.% сухого вещества	содержание и типы примесей		
Хлориды	SS 18 71 85	вес.% сухого вещества	≤0,03	≤0,03	данное значение
Температура плавкости золы	SS-ISO 540	°C	температура начала расплавления		

4.7.2 Классификация облагороженного древесного топлива, принятая в Австрии

В Австрии приняты следующие стандарты, определяющие требования к качеству облагороженного (прессованного) древесного топлива (табл. 4.12) (Altener 1997):

ONORM M 7135-1 "Древесные гранулы, брикеты и бруски";

ONORM M 7135-2 " Гранулы, брикеты и кусковой материал из коры".

Таблица 4.12. Требования к топливу из прессованной древесины в соответствии с австрийскими стандартами (ЕКС 1999).

Характеристика	Гранулы	Брикеты
Поперечное сечение, мм	$4 \leq x \leq 20$	$20 \leq x \leq 120$
Длина, мм	≤ 100	≤ 400
Плотность древесины, кг/дм ³	≥ 1	≥ 1
Содержание влаги, %		
прессованная древесина	≤ 12	≤ 12
прессованная кора	≤ 18	≤ 18
Зольность, % сухого вещества		
прессованная древесина	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$
прессованная кора	≤ 6	≤ 6
Теплотворная способность, МДж/кг		
прессованная древесина	≥ 18	≥ 18
прессованная кора	≥ 18	≥ 18
Содержание серы, % сухого вещества		
прессованная древесина	$\leq 0,04$	$\leq 0,04$
прессованная кора	$\leq 0,08$	$\leq 0,08$
Содержание азота, % сухого вещества		
прессованная древесина	≤ 30	≤ 30
прессованная кора	≤ 60	≤ 60
Содержание хлора, % сухого вещества		
прессованная древесина	$\leq 0,02$	$\leq 0,02$
прессованная кора	$\leq 0,04$	$\leq 0,04$

Примечание: прессованную древесину или кору производят из древесины или коры.

4.7.3 Классификация облагороженного древесного топлива, принятая в Германии

В Германии имеется стандарт, определяющий требования к характеристикам древесных брикетов (Altener 1997). Система классификации представлена в табл. 4.13.

Таблица 4.13. Немецкий стандарт, определяющий требования к характеристикам древесных брикетов (DIN 51731) (Altener 1997).

Категория	Длина (см)	Ширина (см)
НР 1	>30	>10
НР 2	15-30	6-10
НР 3	10-16	3-7
НР4	<10	1-4
НР5	<5	0,4-1

Брикеты также должны соответствовать следующим условиям:

Плотность	1-1,4 г/см ³
Влажность	<12%
Зольность	<1,5%
Теплотворная способность	17,5 - 19,5 МДж/кг

5. МЕТОДЫ ЗАГОТОВКИ И ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

В следующих главах сначала дается описание общих аспектов заготовки деловой древесины, а затем рассматриваются методы производства различных видов древесного топлива. В целом производственные цепочки заготовки топливной древесины можно разделить на три группы, основанные на применении комплексного метода заготовки древесины, метода отдельной заготовки древесины и метода самостоятельной заготовки древесины владельцами лесных участков. Комплексная заготовка древесины является наиболее экономически эффективным методом, имеющим значительные преимущества по сравнению с отдельным методом заготовки, в особенности при широкомасштабной заготовке древесины. Комплексная заготовка позволяет снизить затраты на планирование, управление и другие основные издержки в расчете на произведенный кубический метр лесопроductии. Кроме того, применение одних лесозаготовительных машин для выполнения различных видов работ позволяет минимизировать затраты на транспортировку с использованием тяжелой техники.

Отдельная заготовка древесины используется, как правило, при заготовке маломерных деревьев с кроной и сортиментов, в основном при уходе за молодняком и рубках первого прореживания или при так называемых восстановительных рубках в молодых лесонасаждениях. Самостоятельный метод заготовки используется многими владельцами лесов для заготовки топливной древесины на продажу. Как правило, при такой заготовке операции рубки и обрезки сучьев выполняются вручную, а для транспортировки срубленных деревьев используются сельскохозяйственные тракторы.

В настоящей главе основное внимание уделяется производству топливной щепы из лесосечных отходов. Эта производственная цепочка имеет наиболее значительный потенциал развития и способна обеспечить наиболее высокую экономическую эффективность производства древесного топлива. Описываемые методы производства древесного топлива основаны на результатах исследований, полученных в ходе реализации в Финляндии программы биоэнергетических исследований в период с 1993 по 1998 г. Основной целью исследований в сфере производства древесного топлива являлось снижение производственных издержек до уровня издержек, связанных с использованием импортируемого топлива, при транспортировке древесного топлива на расстояние до 100 км. Исследования в сфере мелкомасштабного производства древесного топлива относились в основном к производству дровяной древесины и щепы для систем теплоснабжения мощностью менее 1 МВт, т.е. для установок, относящихся к классу мощности энергетических установок, работающих на легком дистиллятном топливе. Основной целью программы исследований являлось снижение издержек на 20% по сравнению с уровнем издержек, существовавшим в 1992 г. (Asplund et al.).

5.1 МЕТОДЫ ПОСТАВОК ЛЕСНОЙ ДРЕВЕСИНЫ В СЕВЕРОЕВРОПЕЙСКИХ СТРАНАХ

5.1.1 Общие положения

Так как процессы заготовки древесины и производства древесного топлива тесно связаны с операциями поставок товарной древесины предприятиям лесной промышленности, понимание методов поставок требует знания типичных систем лесопользования и поставок лесопроductии (рис. 5.1). В этой главе описываются методы лесопользования, применяемые в североевропейских странах, главным образом, в Финляндии. Описание методов основано на данных исследований Хаккилы (Hakkila 1995).

Под поставками лесной древесины предприятиям лесной промышленности понимается продажа (закупка), планирование производства, заготовка и измерение объемов лесной древесины, а также дальняя транспортировка лесной древесины на лесопильные предприятия. Лесозаготовка, являющаяся основной операцией в системе поставок лесоматериалов, включает рубку леса и внедорожную трелевку лесоматериалов к обочине дороги или месту складирования.

До второй мировой войны во всех странах лесозаготовительные работы были основаны на использовании простых ручных инструментов, ручного труда и животных (в североевропейских странах — лошадей) для перевозки лесоматериалов. В 1950-е и 1960-е гг., когда повысился уровень

механизации лесозаготовительных работ, в северо-европейских странах были разработаны новые технологии и системы производства, в наибольшей степени соответствующие условиям этих стран. Система поставок лесоматериала в северо-европейских странах основана на заготовке хлыстов, т.е. стволов естественной длины, или сортиментов стандартной или установленной потребителем длины, когда очистка дерева (т.е. обрезка ветвей и сучьев целого дерева или части дерева) и разделка его на сортименты осуществляется на лесосеке. Таким образом, большая часть этих работ выполняется в лесу. Лесоматериалы доставляются на погрузочный пункт с помощью само-загружающихся лесных трелевочных тракторов, т.е. форвардеров. Существует большое число специальных машин и методов, разработанных для такой системы выполнения лесозаготовительных работ, предназначенных как для небольших объемов работ владельцем лесного участка, так и крупномасштабного промышленного производства, рубок прореживания, восстановительных рубок и т.д. (Hakkila 1995).

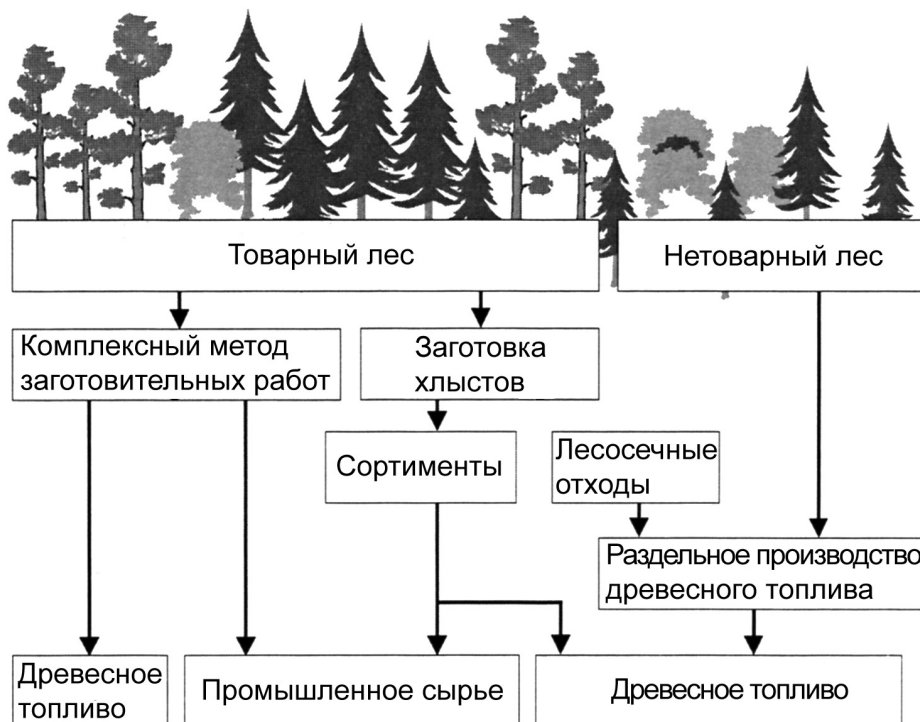


Рис. 5.1. Различные технологии лесозаготовительных работ (на примере Финляндии) (Nousiainen et al.).

5.1.2 Лесозаготовительные операции

Существуют различные лесозаготовительные операции, некоторые из которых описываются в настоящем разделе. При выполнении лесозаготовительных операций с использованием механизированного ручного труда операторы с бензопилами осуществляют валку, очистку и разделку деревьев на сортименты требуемой длины в соответствии с требованиями к качеству лесоматериалов. Этот метод применяют многие фермеры, самостоятельно осуществляющие лесозаготовительные работы (рис.5.2). Как правило, они используют бензопилу для валки деревьев и сельскохозяйственный трактор для трелевки сваленных деревьев. При осуществлении так называемой продажи с доставкой владелец леса осуществляет валку и внедорожную транспортировку (трелевку) древесины к лесовозной дороге. Сельскохозяйственные тракторы часто оборудуют механическими или гидравлическими манипуляторами и прицепами с тем, чтобы их можно было использовать для внедорожной транспортировки леса. Они также могут оборудоваться трелевочными захватами или трелевочными лебедками. Сельскохозяйственные тракторы используют в основном в летний период, зимой без выполнения лесозаготовительных работ они могут простоять. Кроме того, лесозаготовительное оборудование, устанавливаемое на тракторах, можно использовать для выполнения сельскохозяйственных работ (Hakkila 1995).

При механизированной промышленной валке леса вместо бензопил используются принадлежащие подрядчику лесозаготовительные машины (харвестеры), способные производить как валку,

так и обработку деревьев. Большинство современных заготовительных машин представляют собой однозахватные харвестеры, оборудованные стрелой с установленной на ней головкой с пилой, которые осуществляют валку, очистку от сучьев и разделку хлыстов на сортименты. После этого сортименты легко погрузить на форвардер. Трелевка лесоматериалов к лесовозной дороге производится с помощью 6- или 8-колесных форвардеров. Транспортировка сортиментов по лесовозной дороге осуществляется с помощью специальных самозагружающихся автолесовозов, принадлежащих, как правило, частным предпринимателям, которые могут заключить долгосрочные контракты с предприятиями лесной промышленности и другими лесозаготовительными компаниями (Hakkila 1995).



Рис. 5.2. Применение однозахватного харвестера в рубке главного пользования (фотография: BENET).

Кроме системы поставок древесины, основанной на заготовке и вывозке хлыстов, в мире существуют еще две наиболее распространенные системы заготовки леса. Одной из них является система с использованием метода заготовки целых деревьев, когда валка деревьев производится с помощью бензопилы, и затем деревья с кронами доставляются трелевочной машиной к лесовозному пути. Очистка деревьев от сучьев и разделка их на сортименты производятся на верхнем складе перед дальнейшей транспортировкой сортиментов или после доставки деревьев лесовозами на нижний склад или биржу сырья лесопильного завода. Система с использованием метода заготовки целых очищенных деревьев аналогична вышеописанной системе; отличие заключается в том, что очистка деревьев от сучьев производится на корню. В Северной Америке большинство предприятий лесной промышленности применяют метод заготовки деревьев, очищаемых на корню. В Европе (или в североевропейских странах) более широкое применение нашел метод заготовки хлыстов (Hakkila 1995).

5.1.3 Характеристики североевропейской системы лесозаготовки с применением метода заготовки хлыстов

Как указывалось ранее, североевропейская система поставок лесоматериалов основана на использовании методов заготовки хлыстов и сортиментов, заготовленных в соответствии с требованием заказчика, или сортиментов стандартной длины. Хаккила (Hakkila 1995) указывает следующие причины, определяющие применение сортиментного метода заготовки древесины:

- ♦ хотя деревья в Северной Европе имеют довольно малые размеры и объем ствола, этот фактор не оказывает такого воздействия на производительность форвардера, какое он оказал бы на производительность трелевочных машин;
- ♦ деревьям наносится меньший ущерб при рубках прореживания;
- ♦ меньшее уплотнение и нарушение слоя почвы по сравнению с методом заготовки хлыстов;
- ♦ благоприятные эргономические условия работы в кабине форвардера;
- ♦ форвардеры не требуют специальных участков для разгрузки; выгрузка лесоматериалов может производиться на обочину дороги;
- ♦ при погрузке лесоматериалов в лесу и их разгрузке в погрузочном пункте на обочине лесовозной дороги форвардеры сортируют лесоматериалы, что облегчает доставку лесовозом различных видов сортиментов на различные лесопильные предприятия;
- ♦ лесоматериалы, доставляемые грузовыми форвардерами, остаются чистыми, в отличие от деревьев и стволов и другой биомассы, подвозимых трелевочными машинами частично по земле;
- ♦ форвардеры также могут применяться для сбора лесосечных отходов с лесосеки.

5.1.4 Краткий обзор типичных методов лесозаготовки, применяемых в североевропейских странах

В заключение рассмотрения методов поставки лесоматериалов, знание которых также позволяет понять технологию производства древесного топлива, читателю предлагается обратить внимание на следующие типичные аспекты лесной промышленности и методов лесозаготовок в североевропейских странах (в основном в Финляндии):

- ♦ Лесная промышленность тесно связана с сельским хозяйством и расположенными в сельской местности промышленными предприятиями, в особенности в Финляндии, где 63% лесных угодий находятся в частном владении и являются землями непромышленного назначения. В государственной собственности находится 24% лесных земель, лесохозяйственным компаниям принадлежит 9% и муниципалитетам, приходам, фондам и другим коллективным образованиям — 4% лесных угодий; несколько иная структура собственности в Швеции, где государству принадлежит большая доля лесных земель (около 26%).

- ♦ Значительная часть находящихся в собственности государства лесов является охраняемыми территориями.

- ♦ Используются длительные периоды оборотов рубки — до 140 лет в северных районах страны.

- ♦ Лесохозяйственные работы включают регулярное проведение рубок прореживания с целью сохранения жизнеспособности древостоя, регулирования расстояния между деревьями для более быстрого увеличения диаметра деревьев, регулирования породного состава и повышения качественных характеристик деревьев, создания более благоприятных условий для будущих рубок с применением машинных средств.

- ♦ Концепция рационального ведения лесного хозяйства и лесопользования предусматривает обеспечение жизнеспособности, биологического разнообразия, многофункционального использования лесов, а также производство древесного сырья.

- ♦ Так как деревья растут относительно медленно, сохраняя небольшие размеры в течение длительного времени, технология лесозаготовок предусматривает заготовку и обработку маломерных деревьев с использованием метода заготовки хлыстов.

- ♦ В отличие от многих других стран, имеющих лесную промышленность, ландшафт местности включает только небольшие холмы, крутизна склонов которых редко превышает 20-30%. Так как форвардеры и харвестеры могут эксплуатироваться на склонах, имеющих крутизну до 40%, не требуется использование канатных трелевочных систем.

- ♦ Степень механизации лесозаготовительных работ составляет около 90% в Финляндии и чуть более 90% в Швеции. Поэтому повышение производительности не может более обеспечиваться за счет технического развития. В настоящее время основным направлением исследовательских работ становится повышение экологического качества (Hakkila 1995, Финский ежегодный статистический справочник лесной промышленности, 1998 г., www.svo.se).

5.2 ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРЕДПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОРЕЖИВАНИЙ И ПЕРВЫХ РУБОК УХОДА

Общие положения

Рубки ухода и рубки прореживания в молодняках необходимы для будущего развития лесов, позволяющих получить деловую древесину высокого качества. В то время как в североевропейских странах необходимость рубок прореживания повсеместно признается, во многих других странах прореживание не производится из-за высоких издержек или отсутствия соответствующих лесохозяйственных методов. Сокращение рынка маломерной древесины может происходить в результате отсутствия предприятий по производству бумажной целлюлозы. Сложный рельеф местности со значительными перепадами высот и отсутствие малогабаритной лесозаготовительной техники также могут затруднять уход за молодняком. Несмотря на отсутствие промышленного спроса на маломерные деревья, они могут являться значительным источником топливной древесины, а также источником дополнительных доходов для владельцев лесов. Заготовка вершин деревьев и древеси-

ны, размеры которой меньше размеров, установленных для балансов, может повысить уровень прибыльности лесозаготовительных работ, в особенности на участках древостоя, где происходит медленный прирост запасов балансовой древесины. Государство может оказывать поддержку, в том числе в форме субсидий, владельцам лесов с целью стимулирования ухода за молодняками и использования древесной энергии, как это имеет место, например, в Финляндии.

В главе 3 были описаны основные источники маломерной топливной древесины. В настоящей главе рассматриваются различные технологии производства лесозаготовительных работ, а также ряд методов, пригодных для использования при маломасштабной или самостоятельной заготовке лесоматериалов.

При заготовке маломерных топливных лесоматериалов нужно учитывать следующие основные аспекты лесозаготовительных работ.

- ◆ Не рекомендуется производить заготовку всего имеющегося объема биомассы (листвы, хвои, ветвей).
- ◆ В первую очередь следует удалять низкокачественные деревья и деревья, оказывающее вредное воздействие на растущий древостой, но на открытых участках можно оставлять стволы, древесина которых имеет низкое качество.
- ◆ Применение надлежащих методов лесопользования, включая методы, обеспечивающие биоразнообразие.
 - ◆ В древостое следует оставлять так называемые деревья редких пород.
 - ◆ Следует минимизировать ущерб, наносимый древостою.
 - ◆ В древостое следует оставлять часть сухостойных деревьев.
 - ◆ Рекомендуется развигать смешанные древостои, содержащие хвойные и лиственные деревья.

Как уже указывалось, существующая потребность в проведении ранних прореживаний значительно превышает фактический объем проводимых прореживаний. В североевропейских странах это происходит в основном из-за отрицательного баланса чистого дохода при выполнении такого вида работ. Однако эти операции должны рассматриваться, в первую очередь, как лесоводческие работы и вклад в будущее развитие. Викинг и Хектор (Viking and Hector) (Oijala et al. 1998) описывают ряд способов снижения издержек и увеличения чистого дохода (снижения отрицательного баланса чистого дохода) при заготовке топливной древесины в молодом древостое.

- ◆ При проведении лесозаготовительных работ в очень молодом древостое, содержащем деревья различных видов, возможно, наиболее эффективным методом будет изъятие деревьев исключительно для использования в качестве топливной древесины с применением эффективных лесозаготовительных методов — таких, как одновременная обработка нескольких деревьев, пакетирование и т.д.

- ◆ В древостое более старшего возраста, пригодном для заготовки как балансовой, так и топливной древесины, следует использовать новые комплексные методы лесозаготовки и обработки лесоматериалов на лесопильных предприятиях с тем, чтобы подчинить выполнение всех операций производственной цепочки требованиям предприятий лесной промышленности.

В Финляндии были разработаны и испытаны на практике следующие методы комплексной заготовки и обработки лесоматериалов. В основном исследования проводились в рамках "Финской программы биоэнергетических исследований" (1993-1998 гг.).

- ◆ Использование валочно-пакетирующих и валочно-трелевочных машин при заготовке маломерных деревьев.
- ◆ Применение однозахватных форвардеров, способных осуществлять одновременную обработку нескольких деревьев.
- ◆ Применение американского метода цеповой очистки-окорки-колки в условиях лесозаготовительных работ в Финляндии.
 - ◆ Использование нижнего склада, оборудованного для обработки маломерных деревьев, с применением методов цеповой очистки-окорки-колки и метода барабанной окорки.
 - ◆ Применение мобильной рубительной машины, предназначенной для переработки в щепу целых деревьев.
 - ◆ Использование установки улучшения качества щепы, получаемой из целых деревьев (Oijala et al. 1998).

5.2.1 Самостоятельная заготовка топливной древесины владельцами лесных участков

В настоящей главе рассматривается ряд широко распространенных эффективных методов заготовки топливной древесины, пригодных для использования владельцами лесных участков, с применением различных типов машин и оборудования. Представлены несколько примеров производственных цепочек, используемых при заготовке маломерных деревьев. Также рассматривается ряд аспектов маломасштабного производства колотой дровяной древесины и щепы.

5.2.1.1 Ручные валка и штабелевка маломерных деревьев

Ручная заготовка топливной древесины с использованием цепной бензопилы по-прежнему остается наиболее распространенным методом заготовки тонкомерных деревьев, предназначенных для производства топливной древесины. Наиболее дорогостоящей и трудоемкой фазой в процессе ручной заготовки, в особенности при подготовке к поставке неочищенных от сучьев тонкомерных деревьев, является фаза валки и укладки деревьев. В целом чем меньше диаметр деревьев, тем более дорогостоящей является их заготовка.

С целью повышения производительности ручной заготовки маломерных деревьев был разработан так называемый валочно-штабелевочный метод заготовки (рис. 5.3). Этот метод предусматривает оборудование бензопилы так называемой валочной рамой, которая позволяет вальщику производить валку деревьев, не нагибаясь. В этом случае лицо вальщика также расположено дальше от работающей машины, что снижает вредное воздействие шума и выхлопных газов пилы. Преимущества использования валочной рамы не являются только эргономическими. Кроме того, что вальщик может работать в вертикальном положении, он также может использовать кинетическую энергию падающего дерева, направляя его ствол в требуемую сторону для укладки в штабель. При валке тонкомерных деревьев бензопилой обычного типа вальщику периодически приходится, удерживая бензопилу одной рукой, другой рукой направлять ствол падающего дерева в требуемую сторону. Спиливание тонкомерного дерева происходит в течение



Рис. 5.3. Бензопила, оборудованная валочной рамой с ручками, повышает уровень эргономики и улучшает условия труда при валке и пакетировании тонкомерных деревьев (фотография: TTS Institute).

короткого времени, и при валке ствола вальщику трудно удерживать бензопилу одной рукой, что повышает вероятность несчастного случая. Эта проблема не возникает при использовании валочной рамы (Ihonen 1997).

Валочная рама может устанавливаться на цепные бензопилы всех типов. Валочная рама легко монтируется и демонтируется, что позволяет одновременно с заготовкой топливной древесины производить заготовку балансовой древесины. Как правило, производительность валочно-штабелевочного метода составляет от 2 до 4 м³ древесины за час эффективного времени работы. Основным фактором, оказывающим воздействие на производительность, являются размеры заготавливаемых деревьев.

Исследование так называемой рабочей фазы, выполненное Институтом эффективности труда (TTS Institute), показало, что переход от ствола к стволу занимает 18-27% эффективного рабочего времени. Укладка топливных лесоматериалов вдоль просек занимает 17-30%, раскряжевка деревьев — 10-15% и так называемые вспомогательные операции (например, очистка лесосеки и просек от кустарника и планирование рабочих операций) — 4% (Ruunanen 1998).

Перед началом работ необходимо ознакомиться с общим планом территории лесосеки, отметить обрывы, участки влажной почвы, каменистые склоны. Рекомендуется заблаговременно планировать

расположение просек на лесосеке с тем, чтобы исключить повреждение земли или деревьев. Валку деревьев следует производить весной или осенью. Так как топливная древесина остается в лесу до конца лета, следует эффективно использовать процесс естественной сушки древесины. Под штабель следует подложить лаги необходимой длины. Так как лаги предотвращают вдавливание нижних деревьев в землю, они остаются сухими. Лаги также облегчают погрузку деревьев с помощью манипулятора. Рекомендуется производить укладку деревьев так, чтобы их концы были расположены вдоль лесовозной дороги по прямой линии. Не следует размещать штабеля за такими препятствиями как деревья или камни, или какими-либо другими. Максимальная длина штабеля определяется максимальной длиной вылета стрелы манипулятора.

Объекты, которые могут представлять опасность при выполнении валки и трелевки (транспортировки) леса, например линии электропередач и телефонные линии, должны быть обозначены как на местности, так и на технологической карте лесосеки. На карте также должны быть обозначены границы лесосеки, расположение просек, погрузочных пунктов у лесовозных дорог и охраняемых объектов, например родников. Карта имеет чрезвычайно важное значение при выполнении валки и транспортировки (трелевки) леса разными людьми.

Состояние территории погрузочного пункта у лесовозной дороги (верхнего склада) не должно затруднять транспортировку леса, т.е. участок не должен содержать камней, пней, рытвин и т.д. Наилучшим местом расположения погрузочного пункта является размещенный выше уровня окружающей местности хорошо проветриваемый участок с твердой и ровной поверхностью. Территория склада должна иметь достаточно большую площадь для того, чтобы по нему могли свободно перемещаться машины и транспортные средства. Требования к характеристикам лесных складов определяются типами используемых машин, состав которых может быть различным на разных лесосеках. Во избежание возможных проблем рекомендуется заблаговременно осуществлять детальное планирование работ с использованием трелевочных (транспортных) машин и машин для первичной обработки древесины.

Имеющая форму навеса передняя кромка

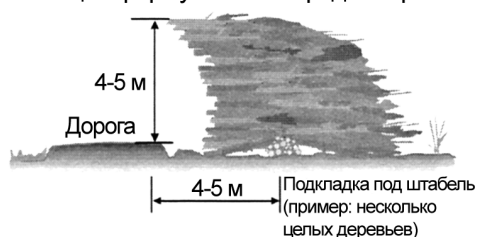


Рис. 5.4. Имеющая форму навеса передняя кромка штабеля предотвращает проникновение воды в штабель. Источник: *Met-sateho/Инструкция по хранению топливной древесины (Met-sateho/Storing Instructions of Energy Wood)*.

Бесснежная зима создает оптимальные условия для транспортировки и штабелевки топливной древесины. Как и на этапе проведения лесосечных работ, штабель рекомендуется укладывать на древесную подкладку. Если предусматривается переработка заштабелеванных деревьев в топливную щепу, то их следует укладывать так, чтобы комли были обращены в сторону дороги. Рекомендуется укладывать деревья в высокий штабель с тем, чтобы максимально уменьшить площадь увлажнения древесины в случае дождя. Укладка штабеля таким образом, чтобы его передний край имел форму навеса (рис.5.4), предотвращает порчу водой всего штабеля. При штабелировании лесоматериалов следует следить за тем, чтобы в штабель не попадали камни, куски гумуса или части корней, которые могут вызвать повреждение ножей рубильной машины.

5.2.1.2 Заготовка тонкомерных деревьев с использованием сельскохозяйственных тракторов

Институт эффективности труда выполнил ряд исследований, относящихся к методам самостоятельной заготовки маломерных деревьев владельцами лесных участков. Было проведено большое число полевых исследований характеристик различных типов лесозаготовительных машин (харвестеров), навешиваемых на рукоять манипулятора или сельскохозяйственный трактор. Значительный объем исследований был выполнен в рамках реализации "Программы биоэнергетических исследований" (1993-1998). Многие лесозаготовительные машины, использовавшиеся в период проведения исследований, являлись опытными моделями. В основном эти лесозаготовительные машины были предназначены для валки и пакетирования деревьев; некоторые модели также были оснащены оборудованием для очистки деревьев от сучьев. Некоторые модели лесозаготовительных машин также оборудуются дополнительными захватными устройствами, позволяющими эффектив-

но осуществлять одновременную обработку нескольких деревьев. Ниже на рисунках показаны различные устройства, навешиваемые на сельскохозяйственный трактор обычного типа.

Устройства, предназначенные для валки, очистки и раскряжевки деревьев

Устройства, предназначенные для заготовки маломерной древесины, устанавливаются на грейфер или рукоять манипулятора. Они могут иметь механизм подачи с поршневым приводом или роликовое устройство подачи. В системах с поршневым приводом устройство обрезки сучьев приводится в действие гидравлическим цилиндром, который перемещает выдвижную стрелу вперед или назад. В моделях с поршневым приводом принцип действия механизма привода аналогичен принципу действия приводов больших специализированных лесозаготовительных машин (рис. 5.5). Раскряжевка может производиться либо с помощью гильотинного ножа (ножа силового резания), как в лесозаготовительной машине модели "Наарва-Сике" (Naarva-Syke), либо цепной пилой, как в модели АМ 240. Рекомендуемый диаметр обрабатываемых деревьев составляет 20-23 см. Производительность лесозаготовительной машины зависит от



Рис. 5.6. Устройство АМ 240, предназначенное для валки, очистки и раскряжевки деревьев (Mefor Oy), навешиваемое на гидроманипулятор сельскохозяйственного трактора (фотография: Институт эффективности труда).

размеров обрабатываемых стволов. Производительность при комбинированной заготовке деловой и топливной древесины с использованием лесозаготовительной машины модели "Наарва-Сике" составляет около 3,2-3,6 м³ древесины/час чистого рабочего времени. При использовании этого метода производится очистка от сучьев и раскряжевка деревьев на балансы, а вершины и другие части деревьев, не пригодные для использования в качестве балансовой древесины, укладываются в штабель без удаления ветвей. Производительность лесозаготовительной машины при валке и штабевке только тонкомерных деревьев составляет около 2,2 м³ древесины/час чистого рабочего времени (Ihonen 1997a and 1988).

Производительность устройства АМ 240 (рис. 5.6) при комбинированной заготовке деловой и топливной древесины составляет около 3,6-3,9 м³ древесины/час чистого рабочего времени. Устройство состоит из гидравлической цепной пилы, двух подающих роликов и трех ножей для обрезки сучьев. Хотя роликовое устройство осуществляет подачу быстрее, чем поршневое устройство, характеристики производительности этих методов не имеют значительных различий, возможно, благодаря тому, что заготавливаемые деревья являются тонкомерными. Производительность заготовки только очищенных от сучьев тонкомерных деревьев составляет 1,8-1,9 м³ древесины/час эффективного рабочего времени (Ihonen 1988).

Цепная сучкорезная машина

Цепное сучкорезное устройство, показанное на рис. 5.7, крепится на трехточечную навеску сельскохозяйственного трактора. Стволы диаметром до 15 см могут подаваться в устройство как вручную, так и с помощью манипулятора. С целью обеспечения более высо-



Рис. 5.5. Устройство "Наарва-Сике" (Naarva-Syke), предназначенное для валки, очистки и раскряжевки деревьев (Pentti Paja Ky) с поршневым устройством подачи, навешиваемое на гидравлический кран сельскохозяйственного трактора (фотография: Институт эффективности труда).



Рис. 5.7. Цепная сучкорезная машина, разработанная и изготовленная компанией Эскон Пайа (Эско Пойтассари) (Eskon paja (escon Poytasaari) (фотография: Институт эффективности труда).

кой производительности и по соображениям безопасности подачу деревьев следует производить манипулятором. В полевых условиях производительность составляет около 1 м³ древесины/час чистого рабочего времени. Производительность машины значительно выше при работе на лесоскладе (2,5-2,9 м³ древесины/час эффективного рабочего времени). Это устройство специально предназначено для заготовки топливной древесины. Цепи устройства обрезки сучьев вместе с ветвями снимают также часть коры, что ускоряет сушку топливной древесины (Mattila 1998).

5.2.1.3 Трелевка (транспортировка) долготья и целых деревьев на лесосеке с помощью сельскохозяйственного трактора



Рис. 5.8. Сельскохозяйственный трактор с прицепом, на котором установлен гидравлический уплотнитель (фотография: Институт эффективности труда).

Сельскохозяйственный трактор может быть легко приспособлен для трелевки хлыстов и целых деревьев на лесосеке. Важным преимуществом сельскохозяйственного трактора является его высокая маневренность, которая позволяет эффективно производить лесозаготовительные работы на небольших лесосеках. При транспортировке лесоматериалов, в особенности целых деревьев, масса полезного груза может быть меньше, чем допускают возможности трелевочной машины. В этом случае для повышения производительности можно увеличить грузовое пространство, например, установив в прицеп дополнительные шесты. Производительность также можно увеличить с помощью устройств, предназначенных для уплотнения груза. Гидравлические уплотнители увеличивают издержки, поэтому они более подходят для использования владельцами лесных участков, выполняющими большие объемы работ. На рис.5.8 показана трелевочная система на базе сельскохозяйственного трактора, в которой ширина грузового прицепа может регулироваться с помощью гидравлического устройства в пределах 2,0-4,2 м. Соответственно грузовой объем прицепа изменяется от 15 до 30 м³. Уменьшение ширины грузового пространства позволяет осуществлять трелевку в растущем древостое. Эта система также может применяться для транспортировки лесосечных отходов (Mutikainen 1999).

5.2.1.4 Сравнение производственных издержек в различных производственных цепочках, используемых при самостоятельном производстве лесозаготовительных работ

Величина издержек в различных производственных цепочках зависит от характеристик применяемых машин, метода и условий лесозаготовки в различных древостоях. Величина издержек при производстве лесозаготовительных работ также изменяется в зависимости от объемов заготовки деловой и топливной древесины, расстояния транспортировки лесоматериалов, условий местности и других факторов. Машинные лесозаготовительные устройства рекомендуется использовать на лесосеках, где осуществляется заготовка как топливной древесины, так и балансов для производства целлюлозы.

Комбинированная заготовка балансовой и топливной древесины обходится дешевле, чем заготовка какого-либо одного вида материала (табл. 5.1). Чем меньше размеры заготавливаемых деревьев, тем более выгодно заготавливать их вручную (с помощью бензопилы). Таким образом, на лесосеках, содержащих только топливную древесину, следует использовать ручной валочно-штабелевочный метод. Различные методы лесозаготовок сложно сравнивать из-за значительных различий в условиях работы на лесосеках. Так как предполагается, что для транспортировки лесоматериалов используется аналогичное оборудование, сравнение следует выполнять на основе оценки самих методов лесозаготовки. Издержки при производстве лесозаготовительных работ выше при заготовке очищенных от сучьев деревьев, используемых в качестве топливной древесины (например, с применением АМ 240), чем при заготовке целых деревьев.

Таблица 5.1. Сравнение издержек при ручном и механизированном методах лесозаготовки (Thonen 1997a and 1998, Mattila 1998).

	Издержки, Евро/ м ³							
	Ручной валочно-штабелевочный метод (с валочной рамой)		Наарва-Сике (Naarva Syke)		AM 240		Цепная сучкорезная машина	
	Целые деревья	Очищенный от сучьев длинномерный сортимент	Комбинированная заготовка балансовой и топливной древесины	Заготовка только топливной древесины	Комбинированная заготовка балансовой и топливной древесины	Заготовка только топливной древесины	Обрезка сучьев в лесу	Обрезка сучьев на лесоскладе
Валка	4,20-7,06	14,78	7,06-7,90	11,09	6,55-9,74	13,78-14,62	4,20-7,06	4,20-7,06
Трелевка (транспортировка) целых деревьев в лесу	4,54-5,88		4,54-5,88	4,54-5,88				4,54-5,88
Трелевка (транспортировка) очищенных от сучьев деревьев в лесу		3,19-3,86			3,19-3,86	3,19-3,86	3,19-3,86	
Очистка от сучьев							23,35-24,53	8,40-9,74
Итого	8,74-12,94	17,97-18,64	11,60-13,78	15,63-16,97	9,74-13,60	16,97-18,48	30,74-35,45	17,14-22,68

5.2.2 Производство щепы

5.2.2.1 Принципы действия рубительных машин

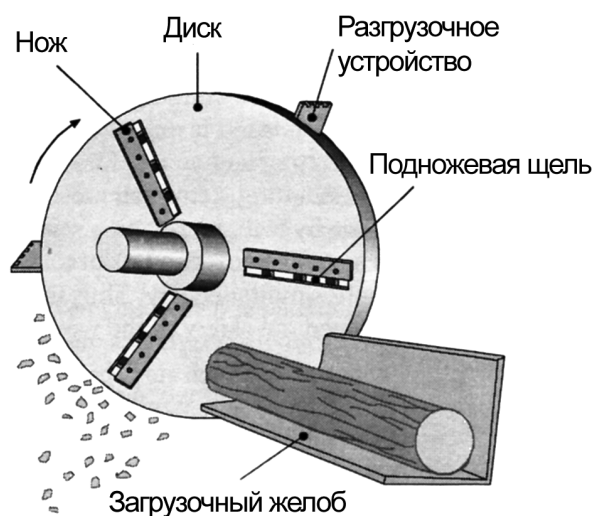


Рис. 5.9. Принцип действия дисковой рубительной машины. Источник: по материалам Hakki-la 1995.

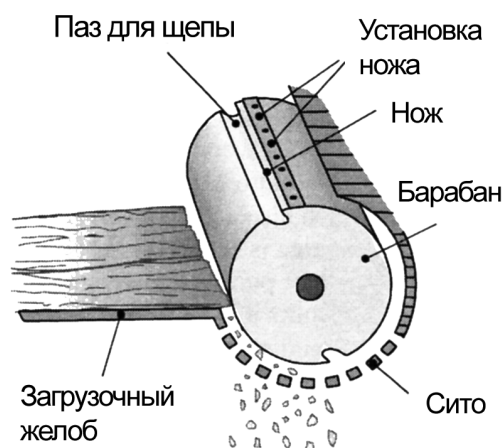


Рис. 5.10. Принцип действия барабанной рубительной машины. Источник: по материалам Hakki-la 1995.

По принципу действия рубительные машины подразделяются на дисковые, шнековые и барабанные. Дисковые и шнековые машины наиболее пригодны для переработки однородного сырьевого материала — такого, как целые деревья и очищенные от сучьев длинномерные сортименты. Барабанные рубительные машины не так чувствительны к неоднородности состава сырья, поэтому они также могут применяться для переработки лесосечных отходов. Рубительные машины либо имеют собственный двигатель, либо приводится в действие от механизма отбора мощности трактора или грузового автомобиля. Высокопроизводительные рубительные машины обычно оснащаются собственным двигателем. Производительность рубительной машины зависит от ее рабочих характеристик, характеристик сырья и условий складирования. Производительность рубительных машин ма-

лой мощности, предназначенных для самостоятельной заготовки, составляет от 5 до 20 насыпных м³ древесины/рабочий час. Производительность наиболее крупных рубительных машин может достигать 150 насыпных м³ древесины/час. В высокопроизводительных рубительных машинах подача сырья осуществляется с помощью гидравлического манипулятора. Таким образом, этот метод более безопасен и производителен по сравнению с ручным методом.

Принцип действия дисковой рубительной машины представлен на рис.5.9. Большие рубительные машины оснащены одним-двумя устройствами, подающими сырьевой материал в рубительную машину. В маломощных дисковых машинах древесина подается непосредственно под прямым углом к ножу диска. Угол подачи ствола регулируется таким образом, чтобы в процессе измельчения

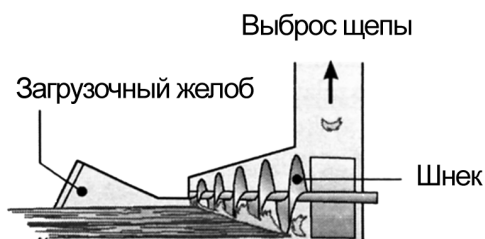


Рис. 5.11. Принцип действия шнековой рубительной машины. Источник: по материалам Syttytaako – puulammityk-sen kayttoops.

древесины он поступал в рубительный орган. В шнековых рубительных машинах функцию устройства подачи выполняет шнековый нож. Однако использование регулируемого устройства верхней подачи сырья может повысить производительность рубительной машины. На рис. 5.10 показан принцип действия барабанной рубительной машины. Все барабанные рубительные машины оснащаются механизмами подачи, которые могут быть оборудованы верхним роликовым транспортером и нижним цепным транспортером или верхним и нижним роликовыми транспортерами. На рис. 5.11 показан принцип действия шнековой рубительной машины.

5.2.2.2 Рубительные машины малой мощности

Как правило, маломощные рубительные машины агрегируются с сельскохозяйственными тракторами (рис. 5.12). Рубительная машина устанавливается на подъемное устройство трактора. Такая рубительная машина характеризуется низким уровнем потребления энергии и, соответственно, имеет низкую производительность. Легкие рубительные машины наиболее пригодны для использования на фермах, на которых щепа производится в малых количествах. Рубительная машина состоит из поворотного щепопровода и дефлектора, которые обеспечивают точную подачу щепы на прицеп.



Рис. 5.12. Дисковая рубительная машина, установленная на подъемнике трактора. Источник: Farmi-brochure.



Рис. 5.13. Рубительная машина с бункером "Рису-Хукка (Risuhukka) (фотография: Институт эффективности труда).

5.2.2.3 Рубительная машина с бункером

Бункерная рубительная машина, устанавливаемая на сельскохозяйственный трактор, оснащена контейнером для щепы объемом 2 м³ (рис. 5.13). В бункер подаются очищенные от сучьев длинномерные сортименты или целые деревья. После заполнения бункера древесина подается в рубительный орган машины. Ее резка осуществляется при угле установки ножа 90°, что требует значительных затрат энергии трактора, однако полученная щепа имеет относительно малые размеры и может использоваться в различных топках. При переработке деревьев с подсушенной листвой производительность устройства составляет от 1,4 до 2,5 м³ щепы/рабочий час при условии, что расстояние трелевки не превышает 50 м (Asplund et al. 1999).

5.2.2.4 Возможности кооперации

Период эффективного использования рубительных машин, особенно в фермерских хозяйствах, очень ограничен. Рубительная машина используется только несколько дней в году. Степень ее использования определяется объемом складов хранения щепы. В любом случае часть мощности рубительной машины остается невостребованной. Поэтому каждому владельцу лесного участка нет смысла иметь собственную рубительную машину; более выгодно производство щепы поручить подрядчику — переработчику щепы или приобрести одну рубительную машину для общего пользования. В этом случае, так как в финансировании приобретения рубительной машины принимают участие несколько человек, имеется возможность на те же средства приобрести более качественную и производительную модель. В большинстве случаев предпочтение отдается барабанной рубительной машине, способной перерабатывать различные виды сырья. Высокопроизводительная барабанная рубительная машина может не только использоваться ее владельцами, но и предоставляться в аренду другим пользователям. Следует четко определить условия и правила эксплуатации рубительной машины с тем, чтобы обеспечить ее эффективное использование в интересах всех владельцев и содержание в надлежащем состоянии.

5.2.3 Производство дровяной древесины

5.2.3.1 Применение топора для раскалывания дровяной древесины

Наиболее распространенным сырьевым материалом, применяемым для заготовки колотой дровяной древесины (дров), являются стволы низкокачественных деревьев. Также частично используются балансы и подгнившие бревна. Простейший метод заготовки дров не требует использования сложных устройств; все, что требуется, — это древесина, пила и топор, соответственно, для раскряжевки и расколки древесины. Наиболее удобный метод раскряжевки — разделка бревен бензопилой на козлах. При этом можно осуществлять одновременную распиловку нескольких бревен, что повышает безопасность и производительность работ.

Для колки поленьев требуется чурбан с ровной поверхностью. Предназначенный для расколки на дрова чурбак устанавливается вертикально на чурбан. Расколка чурака топором требует соответствующих навыков. Отрезки тонких стволов высыхают без расколки. При колке маломерной древесины ее рекомендуется помещать на чурбан горизонтально. Это уменьшает вероятность промаха и получения травмы. Для колки дровяной древесины был разработан специальный инструмент — клиновой колун (рис.5.14). Клиновой колун состоит из стального клинообразного лезвия и телескопической ручки. Древесина, предназначенная для колки, помещается в цилиндрический контейнер, который также используется как корзина для переноски дров. Лезвие помещается на древесину, и телескопическая ручка оказывает давление на лезвие, которое раскалывает древесину. Клиновой колун имеет более высокую безопасность и степень точности, чем обычный топор, хотя стоимость его несколько выше, чем обычного топора (Pirinen, 1998).

Колун Кливен клас (Klyven klas), запатентованный в Швеции, представляет собой безопасный эргономичный инструмент, предназначенный для колки дров. Колун закрепляется в отверстии, просверленном в чурбане (рис. 5.15), и отрезок древесины, предназначенный для расколки, помещается под лезвие колуна. Ударный груз поднимают и затем опускают на лезвие, раскалывающее полено (Klyven klas-brochure).



Рис. 5.14. Применение клинового колуна безопасно. Источник: Институт эффективности труда.

5.2.3.2 Оборудование для раскалывания древесины

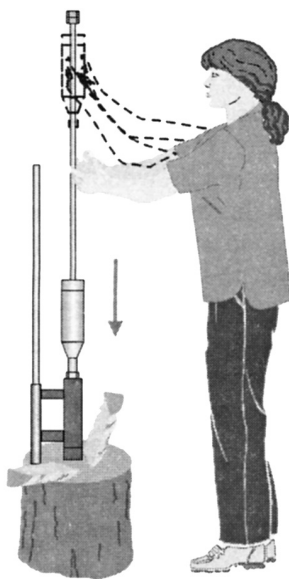


Рис. 5.15. Принцип действия колуна Кливен клас (Klyven klas). Источник: Klyven klas-brochure.

является загрузка стволов на транспортер (рис. 5.16). В процессе работы можно регулировать длину чурakov. В машинах с циркулярными пилами нельзя использовать устройство подачи. При расколке бревен на поленья толщиной 30 см производительность раскалывающих машин достигает 5,8-7,7 м³ древесины/рабочий час (Asplund et al.1999, Pirinen 1997).

В наиболее распространенных машинах, применяемых для разделки и раскалывания дровяной древесины, циркулярная пила распиливает бревно, затем чурaki надвигаются гидроцилиндром на контрнож, который и производит их колку. В некоторых моделях колунов используется гильотинный нож. При распиловке циркулярной пилой древесина имеет более гладкую поверхность, чем при раскалывании. Это обстоятельство следует учитывать при производстве высококачественной товарной дровяной древесины. После раскряжевки и расколки дровяная древесина загружается на ленточный транспортер, который подает ее для погрузки в прицеп или складирования в штабель. Как правило, привод такого оборудования осуществляется от двигателя сельскохозяйственного трактора. Некоторое оборудование оснащено электродвигателями или двигателями внутреннего сгорания. Последние модели колунов с гильотинными ножами оснащены автоматическим устройством подачи древесины. В них бревна загружаются на транспортер, который автоматически подает их на раскряжевку и раскалывание. Этой машиной управляет один оператор, единственной обязанностью которого

5.2.3.3 Промышленное производство колотой дровяной древесины



Рис. 5.16. Колочная машина Билке (Bilke) (с приводом от трактора). Фотография: Институт эффективности труда.

Продавцами дровяной древесины являются либо сами владельцы лесных участков, либо торговые посредники, закупающие дровяную древесину с верхних складов у магистральных дорог. Заготовка дровяной древесины производится вручную или с применением средств механизации. Раскалывание древесины всегда осуществляется с применением механизированного метода. Величина производственных издержек зависит от характеристик машин и оборудования и требуемого качества дровяной древесины. При производстве дровяной древесины первого класса качества издержки составляют 24,02-28,56 Евро/ м³ без учета затрат, связанных с сушкой, хранением, упаковкой и рассортировкой. При производстве дровяной древесины второго и третьего классов качества издержки составляют 16,30-19,82, 24,02-28,56 Евро/ м³ (Asplund et al. 1999).

Хранение является одним из основных этапов процесса промышленного производства колотых дров. Продолжительность его периода определяется влажностью древесины и условиями хранения. Хранение влажной древесины необходимо осуществлять таким образом, чтобы обеспечить надлежащее протекание процесса сушки. Сушка основана на естественном процессе высыхания древесины в помещении или на открытом воздухе. Простейшим методом хранения является хранение древесины под навесом в продуваемом месте в штабеле на салазках (рис.5.17). Наиболее легким методом складирования является хранение в штабелях, что не требует пакетирования, хотя такой метод хранения не гарантирует эффективного просушивания. Штабель должен быть изолирован от земли. Независимо от места хранения не исключена возможность образования плесени в нижних слоях древесины. Также штабель должен находиться под навесом с тем, чтобы дровяная древесина

в штабеле оставалась сухой. Продолжительность процесса сушки зависит от влажности древесины, условий хранения и погодных условий. Наиболее быстро просушивание происходит при низкой относительной влажности воздуха, высокой температуре и сильном ветре. В Финляндии влажность свежесрубленной древесины (составляющая 40-50%), просушиваемой под навесом, снижается до 20% не менее чем через два месяца после складирования (Pirinen, 1997).

Минимальными продажными единицами дровяной древесины являются ящики и мешки весом 10-20 кг. Эти упаковки продаются на бензозаправочных станциях и в розничных магазинах. Конкурентное преимущество мелких продажных единиц заключается как в высоком качестве упаковки, так и самой дровяной древесины. Из-за достаточно высокой цены их приобретают нерегулярно, например для сжигания в открытых каминах. В больших количествах дровяную древесину закупают у оптовых торговцев, осуществляющих торговлю дровяной древесиной постоянно или периодически. Эти предприниматели также могут осуществлять доставку дровяной древесины заказчику. Дровяную древесину закупают в штабельных кубических метрах или насыпных кубических метрах. Наиболее распространенной практикой является закупка колотой дровяной древесины в насыпных кубических метрах. В этом случае колотая дровяная древесина загружается в прицеп, объем которого определяет ее количество. Если колотая дровяная древесина закупается в штабельных кубических метрах, после измерения объема штабеля разбираются и древесина транспортируется насыпью. Это может быть нежелательно в случае, если покупатель намеревается хранить свою дровяную древесину в штабелях, например, из-за ограниченности складских площадей (Pirinen 1997).

По вышеуказанным причинам были разработаны комбинированные единицы переработки и распределения, используемые при продаже дровяной древесины производителями компании Тулипуу ко. (Tulipuuko.). Минимальная упаковка представляет собой картонный ящик объемом 40 дм³. Далее следует упаковка объемом либо 0,25 м³ (поленья длиной 33 см), либо 0,40 м³ (поленья длиной 50 см). Упаковочная рама легко перевозится на тележке (рис. 5.18). Максимальный объем упаковочной рамы составляет 1 м³. Деревянные упаковочные рамы могут утилизироваться, использоваться повторно или ликвидироваться — покупатель может разбирать упаковочные рамы на дрова. Стоимость сырья с упаковкой составляет 25,20-30,24 Евро/м³. С целью развития рынка колотой дровяной древесины были созданы различные организации, осуществляющие маркетинг с использованием телефонной связи и Интернета. Основной целью их деятельности является достижение баланса между предложением и спросом (Asplund et al. 1999).

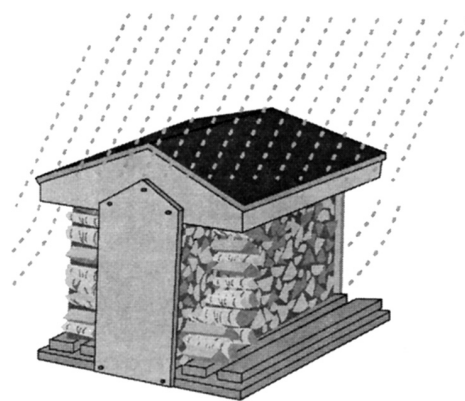


Рис. 5.17. Простейший навес для хранения дровяной древесины. Источник: Институт эффективности труда



VTT Energy

Рис. 5.18. Упаковочная рама, разработанная компанией Тулипуу ко. (Tulipuuko.), предназначенная для продажи дровяной древесины. Источник: Институт эффективности труда.

5.3 КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ЗАГОТОВКИ ТОНКОМЕРНОЙ ТОПЛИВНОЙ ДРЕВЕСИНЫ В ПРОМЫШЛЕННЫХ МАСШТАБАХ

Наиболее экономически эффективные технологии основаны на промышленных методах комплексной заготовки деловой и топливной древесины при проведении первых прореживаний. Комплексный метод позволяет получить в 2-3 раза больше топливной древесины по сравнению с традиционными методами лесозаготовки. Для того, чтобы увеличить объем заготовки топливной древесины, следует использовать методы заготовки и трелевки целых деревьев или частей деревьев. При этом одной из проблем является механическая обработка неочищенных от сучьев деревьев. Лесозаготовительные машины обычного типа не пригодны для этой цели, так как их сучкорезные ножи разрезают стволы деревьев. В настоящее время на рынке лесозаготовительного оборудования предлагаются новые машины, предназначенные для заготовки и трелевки деревьев, включающие монтируемый на трактор комбинированный захват, который может использоваться как для заготовки, так и для погрузки деревьев. Рентабельность использования комбинированных машин определяется эффективностью методов заготовки и более низкими рыночными ценами по сравнению с традиционными методами, основанными на заготовке очищенной балансовой древесины (Asplund et al. 1999).

С целью повышения эффективности лесозаготовительных работ был разработан ряд новых машин. Эти машины способны осуществлять заготовку и обработку больших объемов лесоматериалов. Например, компания Оутокуммун Метали ко. (Outokummun Metalli co.) разработала однозахватный харвестер, предназначенный для групповой обработки тонкомерных деревьев. Эта машина способна осуществлять заготовку частей деревьев, частично очищенных от сучьев, целых деревьев или сортиментов деревьев в зависимости от условий заготовки и назначения древесины. Производительность трелевки (транспортировки) зависит от объема груза. При транспортировке целых деревьев или частей деревьев рекомендуется расширять площадь сечения загрузки или оборудовать транспортное средство уплотнительными устройствами. При дальнейшей транспортировке использование уплотнителей не имеет большого значения и часто не является необходимым (Asplund et al. 1999, Nikku 1998).

5.3.1 Методы цепной обрезки сучьев-окорки

Одним из методов обрезки сучьев и окорки является разработанный в США метод цепной обрезки сучьев-окорки, который предусматривает обрезку сучьев и окорку деревьев на верхнем или нижнем складе. Обработка деревьев осуществляется ударным методом с применением стальных цепей. Очищенная от сучьев балансовая древесина направляется на предприятия для промышленной переработки, а щепа, состоящая из ветвей, хвои и коры, может использоваться в качестве топлива. Технологическая щепа высшего качества не должна содержать более 1% коры. Если содержание коры выше, цена технологической щепы снижается. Поэтому к процессу производства с использованием метода ударной цепной очистки-окорки предъявляются строгие требования (Asplund et al. 1999).

Компания Хуули Ко (Hooli Co) разработала цепную машину ударного типа на шасси грузового автомобиля (рис. 5.19). Такая машина использовалась в Финляндии. Она производит подачу топливной



Рис. 5.19. Цепная сучкорезная машина ударного типа на шасси грузового автомобиля (фотография: VTT Энерджи).

щепы непосредственно в кузов щеповоза и отдельную переработку балансовой древесины на щепу. Обрезка сучьев может производиться на верхнем складе или на нижнем складе. При планировании производственного цикла необходимо учитывать провозную способность используемых транспортных средств. Если обработка (переработка) лесоматериалов осуществляется на верхнем складе, то используются щеповоз — для транспортировки топливной щепы и автолесовоз — для транспортировки очищенной от сучьев деловой древесины. Если обработка (переработка) производится на нижнем складе, то при планировании работ следует предусмотреть транспортировку на него частей деревьев. На уровень рентабельности

работ по переработке древесины на нижнем складе значительное воздействие оказывает расстояние транспортировки (Asplund et al. 1999).

5.3.2 Метод Массакхе (Massahake-method)

В Финляндии имеется только одно демонстрационное предприятие, использующее метод Массакхе. Этот метод предусматривает переработку очищенных от сучьев и окоренных стволов на технологическую щепу и топливную древесину. Метод включает процессы производства и очистки щепы. В производственный процесс также можно вовлекать щепу лесопильных цехов и тонкомерную древесину. Сначала осуществляется рассортировка технологической и топливной щепы с помощью сит и пневматических сепараторов (рис. 5.20). Окончательная очистка осуществляется с помощью оптического сортировочного устройства. Оптическая сортировка основана на определении цвета различных материалов с учетом того, что цвет фракций, содержащих материал коры или ветвей, отличается от цвета чистого древесного материала. Сортировочное устройство определяет частицы, подлежащие отделению, и удаляет их потоком сжатого воздуха. Система очистки удаляет около 30% технологической щепы для дальнейшего использования в качестве топлива. Отделенная топливная щепа может использоваться в топках со сжиганием топлива в псевдоожиженном слое. Использование сучкорезно-окорочной машины ударного типа для обработки частей деревьев увеличивает производительность получения технологической щепы, повышает однородность размеров частиц щепы и снижает содержание коры в щепе до менее чем на 1% (Asplund et al. 1999).

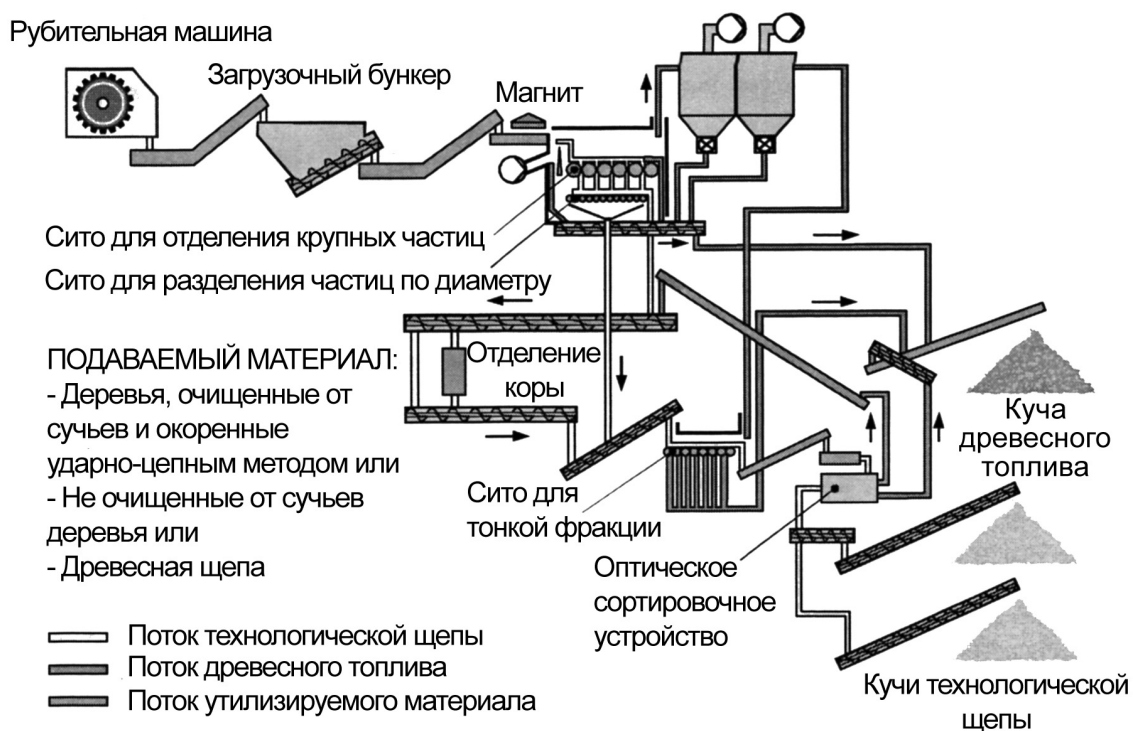


Рис. 5.20. Схема технологического процесса Массакхе (Massahake). Источник: Asplund et al. 1999.

5.4 МЕТОДЫ ЗАГОТОВКИ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ ПРИ РУБКАХ ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

В настоящей главе описываются различные методы и технологические производственные цепочки, применяемые при заготовке лесосечных отходов. Основное внимание уделяется рубкам главного пользования, при проведении которых накапливается значительное количество лесосечных отходов, т.е. ветвей, листья, нетоварных балансов и т.д. Как правило, рубки прореживания не дают большого количества лесосечных отходов, поэтому их заготовка нерентабельна. Также по

экологическим причинам целесообразно оставлять эти отходы в лесу в качестве источника питательных веществ для растущего молодого древостоя.

Значительная часть данных и описаний различных цепочек поставки лесосечных отходов, содержащихся в настоящей главе, заимствована из материалов учебного пособия авторов Алкангаса, Сауранена и Весисенахо (Alakangas, Sauranen and Vesisenaho, 1999), озаглавленного "Методы заготовки лесосечных отходов в Финляндии".

5.4.1 Методы рубки, обеспечивающие эффективную заготовку лесосечных отходов

При проведении рубок главного пользования на лесосеке оператор лесозаготовительной машины осуществляет валку деревьев на одной или на обеих сторонах ленты по отношению к волоку. Первичная обработка дерева, т.е. обрезка сучьев и раскряжевка, осуществляются перед лесозаготовительной машиной. При проведении лесозаготовок с использованием этого традиционного метода лесосечные отходы остаются на лесосечной дороге и сначала попадают под колеса движущейся лесозаготовительной машины. Затем по этому же пути передвигаются лесные трактора и форвардеры, осуществляющие трелевку лесоматериалов, которые повторно сминают лесосечные отходы. Это затрудняет последующую заготовку лесосечных отходов, которые к тому же могут содержать камни, частицы земли и гумуса.

Заготовку лесосечных отходов можно эффективно осуществлять при условии, что они уложены в достаточно большие кучи, размещенные в определенных границах вдоль пасечного волока и не смяты передвигающимися по лесосеке машинами. Таким образом, необходимо изменить методы лесозаготовительных работ, чтобы укладка лесосечных отходов производилась вдоль одной стороны или обеих сторон пути передвижения лесозаготовительной машины. С этой целью можно использовать так называемые односторонние или двусторонние методы лесозаготовки (см. иллюстрации методов, представленные на рис. 5.21).

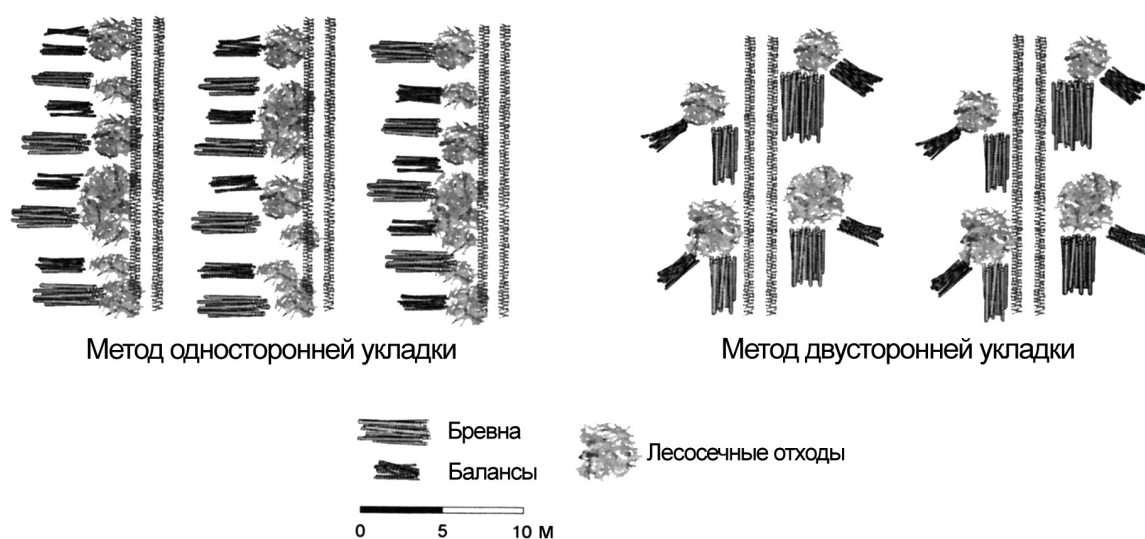


Рис. 5.21. Методы лесозаготовительных работ, проводимых с учетом необходимости заготовки лесосечных отходов. Источник: Alakangas et al. 1999, по материалам Harstela & Takalo 1974.

При проведении работ в соответствии с методами односторонней или двусторонней укладки лесосечных отходов:

- ♦ валка и раскряжевка деревьев производятся только вдоль одной из сторон волока;
- ♦ сортименты укладывают в штабели перпендикулярно или по диагонали к волоку рядом с соседним волоком;
- ♦ лесосечные отходы укладывают между волоком и штабелями деловых сортиментов, т.е. рядом с волоком.

При проведении работ с использованием метода двусторонней укладки лесосечных отходов:

- ♦ первичная обработка деревьев производится на обеих сторонах пасеки;
- ♦ рабочая зона лесозаготовительной машины больше, чем при производстве работ с использованием метода односторонней укладки;
- ♦ деловые сортименты укладывают в штабели перпендикулярно или по диагонали к волоку, а лесосечные отходы размещают между штабелями сортиментов.

В период, когда оператор лесозаготовительной машины осваивает новые методы лесозаготовительных работ, ее производительность снижается на 2-9%. Это происходит только вначале. Затем по мере накопления опыта различие в производительности при использовании различных методов минимизируется, и оператор использует те методы работы, которые наиболее соответствуют его навыкам и характеристикам машины. Метод двусторонней укладки является более приемлемым для использования на тех лесосеках, где производится валка больших деревьев, т.е. во многих случаях при рубках главного пользования (Egnell & Leijon 1966, elonen & Korpilahti 1996, Wigren 1992, "Энергия, вырабатываемая в лесной промышленности Швеции", 1984, Nurmi 1997a).

Расчеты показывают, что укладка лесосечных отходов в кучи вдоль пасечных волоков снижает производительность форвардеров при трелевке леса в среднем на 6%. Уровень снижения производительности колеблется в зависимости от числа и вида заготавливаемых сортиментов. В этом отношении наиболее рентабельными являются лесосеки с преобладанием еловых деревьев, на которых производятся рубки главного пользования и выпиливается ограниченное число видов сортиментов (Uusvaara & Verkasalo 1987).

Обобщив описание методов заготовки лесосечных отходов, можно сделать следующие выводы:

- ♦ выход лесосечных отходов выше, чем при использовании традиционных методов лесозаготовительных работ;
- ♦ достигается более высокая производительность при трелевке лесосечных отходов;
- ♦ лесосечные отходы являются более чистыми и качественными (Alakangas et al. 1999).

5.4.2 Трелевка (транспортировка) лесосечных отходов в лесу

Захват для погрузки лесоматериалов обычного типа, которым оборудован форвардер, непригоден для погрузки лесосечных отходов, так как он вместе с лесосечными отходами захватывает часть грунта. Также такой захват не проникает в достаточной степени в кучу лесосечных отходов. Наилучшей моделью захвата для заготовки лесосечных отходов является так называемый пальцевый захват (рис. 5.22), который имеет следующие преимущества:

- ♦ пальцевый захват не подбирает примеси, как это делает традиционный захват для погрузки лесоматериалов;
- ♦ пальцевый захват лучше проникает в кучу лесосечных отходов, чем захват обычного типа;
- ♦ погрузка и разгрузка пальцевым захватом осуществляются быстрее по сравнению с захватом обычного типа;
- ♦ объем захватываемого материала у него почти на 45% выше, чем у захвата обычного типа;
- ♦ груз имеет более компактные размеры при погрузке пальцевым захватом, имеющим большую грузоподъемность;
- ♦ производительность при трелевке возрастает на 15-25% в зависимости от расстояния трелевки (Alakangas et al. 1999).

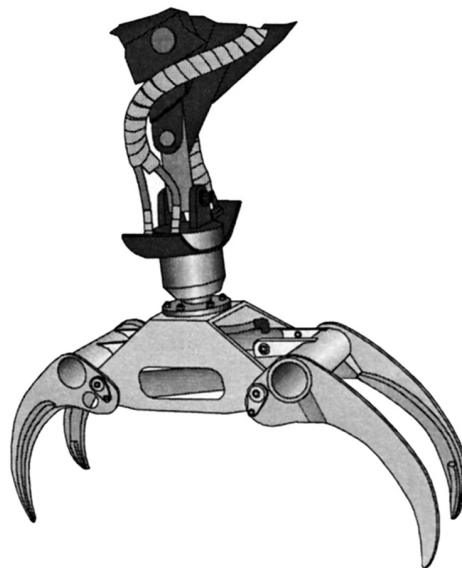


Рис. 5.22. Пальцевый захват для погрузки лесосечных отходов (VTT Энерджи).

Из-за ограниченного грузового пространства в форвардере обычного типа его производительность при трелевке лесосечных отходов останется низкой, если не внести соответствующие измене-

ния в его конструкцию. С тем, чтобы повысить производительность при трелевке, необходимо либо увеличить грузовое пространство, либо уплотнить массу лесосечных отходов, транспортируемых форвардером (рис. 5.23). Форвардер средних размеров со стандартным объемом грузового пространства может перевозить приблизительно 4-5 м³ лесосечных отходов. Расширив грузовое пространство в заднем направлении и установив дополнительные поддоны, можно увеличить объем перевозимого груза до 8-14 м³ (например, Mellstrom & Thorland 1981, Sauranen & Vesisenaho 1996b).

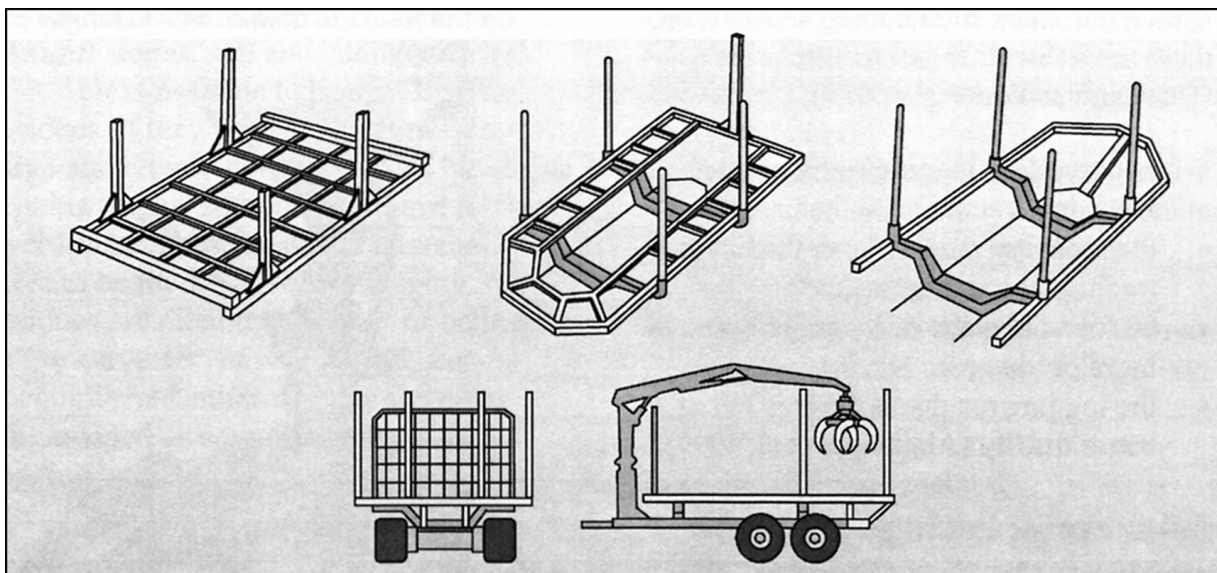


Рис. 5.23. Различные средства расширения грузового пространства форвардеров. Источник: Grothantering.



Рис. 5.24. Лесовозный прицеп ХавуХукка, способный уплотнять лесосечные отходы, буксируется сельскохозяйственным трактором (фотография: Вапо ой Энержи).

Сельскохозяйственные трактора с несколько модифицированной конструкцией также могут использоваться в лесной промышленности. Производительность можно повысить за счет увеличения грузового пространства традиционных лесовозных прицепов. Лесовозный прицеп со стандартным объемом грузового пространства может перевозить 2,6-2,8 насыпных м³ лесосечных отходов; после увеличения грузового пространства и установки дополнительных стоек объем перевозимого груза может достигать до 12 насыпных м³ (Ryynanen & Mononen 1998, Sauranen & Vesisenaho 1996a).

На рис. 5.24 представлена модель специализированного лесовозного прицепа, предназначенного для перевозки лесосечных отходов (модель ХавуХукка (HavuHukka)), разработанного и изготовленного компанией Вапо Ой Энержи (Varo Oy Energy) (Финляндия). Этот прицеп с

закрывающимися кузовными бортами, способный уплотнять лесосечные отходы, буксируется сельскохозяйственным трактором мощностью не менее 140 л.с. Такой прицеп предназначен для дальнейшей транспортировки лесосечных отходов с лесосеки на верхний или нижний склад. Размеры этого прицепа позволяют использовать его для транспортировки лесосечных отходов по дорогам общего пользования.

5.4.3 Складирование лесосечных отходов у лесовозной дороги

Как правило, лесосечные отходы складированы у магистральной лесовозной дороги. Следует учитывать ряд требований, предъявляемых к верхнему складу, относящихся в основном к использованию крупногабаритной и тяжелой техники на верхнем лесоскладе (рис. 5.25). Например, длина щеповоза превышает 20 м, а ширина — 2,6 м. Полный вес щеповоза с грузом составляет приблизительно 60 т. Длина рубительной машины на шасси грузового автомобиля составляет от 10 до 12 м, а вес — 30 т.

Как правило, верхний лесосклад:

- ♦ должен быть тщательно спланирован с учетом так называемой "горячей цепочки", например цепочки рубительная машина — щеповоз, в которой простой одного из звеньев оказывает прямое негативное воздействие на всю цепочку;
- ♦ должен быть достаточно большим, с ровной поверхностью, имеющей высокую несущую способность. Не допускается присутствие пней, больших камней или любых других предметов или объектов, которые могут затруднить передвижение техники;
- ♦ не должен быть расположен рядом с телефонными линиями или линиями электропередач;
- ♦ должен иметь площадь, достаточную для разезда и выполнения поворотов;
- ♦ должен иметь площадь, достаточную для размещения куч лесосечных отходов высотой 5 м и шириной 10 м, из расчета 10 м на каждые 100 м³ лесосечных отходов (Alakangas et al. 1999).

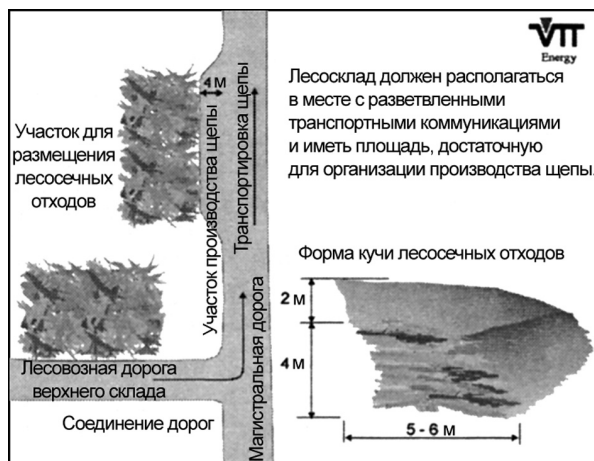


Рис. 5.25. Склад лесосечных отходов у магистральной лесовозной дороги занимает большую площадь (VTT Энерджи).

Кучи лесосечных отходов должны иметь максимальные возможные размеры и располагаться в пределах рабочего радиуса действия манипулятора рубительной машины или дробилки. На практике максимальное расстояние от задней кромки кучи лесосечных отходов до края дороги может составлять от 5 до 6 м. Следует учитывать, что при длительном хранении может значительно увеличиваться влажность куч небольших размеров. Например, при производстве щепы на верхнем складе из лесосечных материалов, уложенных в кучи больших размеров, рубительной машине не требуется перемещаться на другие участки, и она может, оставаясь на одном месте, выработать количество щепы, достаточное для полной загрузки щеповоза (Alakangas et al. 1999).

При формировании кучи лесосечных отходов в основание кучи на землю укладывают крест-накрест несколько пучков целых деревьев или вершин деревьев для защиты нижнего слоя лесосечных отходов от загрязнения грунтом или замерзания в зимнее время. Эти пучки также позволяют оператору рубительной машины определить, где находится основание кучи лесосечных отходов. Лесосечные отходы укладываются в кучи таким образом, чтобы торцы деревьев были обращены в сторону дороги. Не рекомендуется располагать кучи в поперечном направлении, так как лесосечные отходы, уложенные последними, должны быть разгружены первыми. Лесосечные отходы из кучи, уложенной таким образом, легко разгружаются, например для переработки в щепу или другие виды переработки (Alakangas et al. 1999).

В Швеции распространено использование битуминированной бурой бумаги в качестве защитного покрытия куч лесосечных отходов. По данным проводившихся в Швеции исследований, щепы, полученная из лесосечных отходов, которые покрывались зимой защитными материалами, была приблизительно на 10% суше щепы, полученной из лесосечных отходов, хранившихся без покрытия. Кроме того, хранение лесосечных отходов под защитным покрытием является эффективным способом предотвращения образования плесени при длительном хранении. Бумага не остается на лесоскладе, так как перерабатывается в щепу вместе с лесосечными отходами. Сухие лесосечные отходы (содержащие около 30% влаги), которые хранились в течение летнего периода, следует закрывать при хранении на открытом лесоскладе для защиты от дождя и снега в осенне-зимний период. Напротив, зеленые и влажные лесосечные отходы закрывать не рекомендуется (Alakangas et al. 1999, Jirjis 1995, Lehtikangas 1998, Nurmi 1998).

5.4.4 Производство щепы на лесном складе у магистральной лесовозной дороги

На рис. 5.26 показаны фазы производственной цепочки, основанные на производстве щепы на лесоскладе у магистральной лесовозной дороги (верхнем складе).

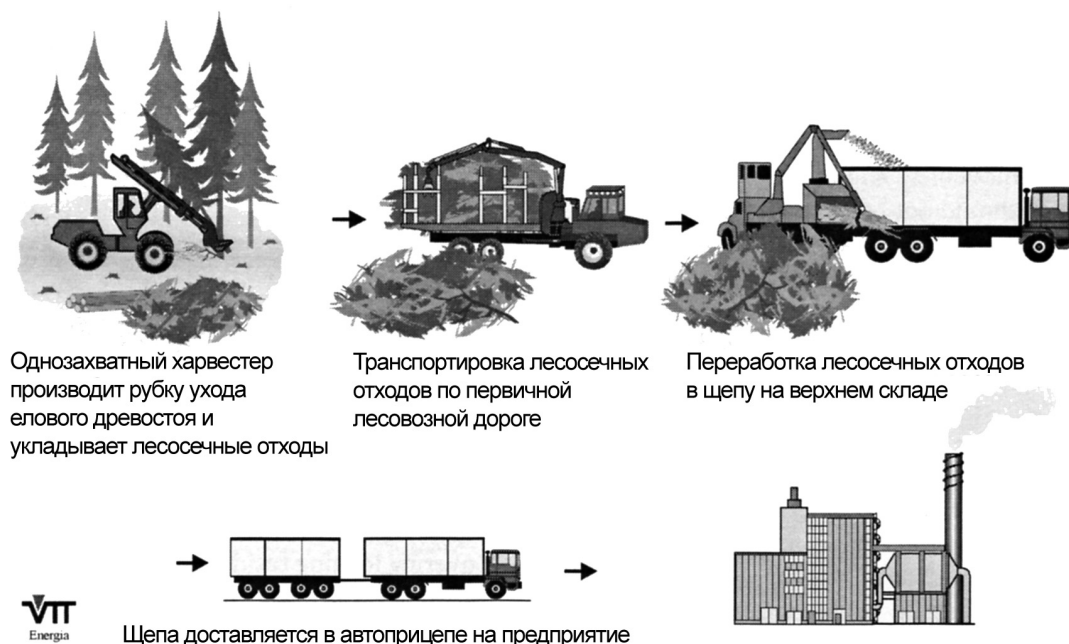


Рис. 5.26. Производственная цепочка, основанная на производстве щепы на верхнем складе (VTT Энерджи, Финляндия).

5.4.4.1 Переработка лесосечных отходов в щепу и измельчение лесосечных отходов на верхнем складе



Рис. 5.27. Барабанная дисковая машина на шасси грузового автомобиля, осуществляющая переработку лесосечных отходов (фотография: BENET).

Для обработки лесосечных отходов необходимы высокоэффективные рубительные машины и дробилки. При резком изменении скорости подачи лесосечных отходов в рубительную машину могут возникать вредные для машины пиковые нагрузки. С тем, чтобы обеспечить равномерную подачу сырья, так называемый стол подачи сырья рубительной машины должен иметь достаточную длину. Наиболее эффективными машинами для переработки на щепу целых деревьев являются дисковые рубительные машины. Как правило, дисковые рубительные машины имеют узкое отверстие подачи, предотвращающее попадание в рубительный орган лесосечных отходов, которые могут нарушать работу машины. Щепа из лесосечных отходов, полученная в дисковой машине, содержит большое количество щепок, которые могут создавать определенные проблемы при использовании щепы конечным потребителем. Поэтому барабанные рубительные машины наиболее пригодны для производства щепы из лесосечных отходов (рис. 5.27). Они производят более однородную, т.е. имеющую более однородное качество, щепу, чем дисковые рубительные машины, и

менее, чем они, чувствительны к примесям (Alakangas et al. 1999).

Производительность производства щепы на верхнем складе зависит от характеристик сырья, условий работы и складирования и рабочих характеристик рубительной машины. В среднем произ-

водительность производства сырья составляет от 40 до 80 насыпных м³ щепы/эффективный рабочий час. Как правило, зеленая щепа перерабатывается быстрее, чем сухая. Следует проявлять исключительную осторожность при переработке нижних слоев лесосечных отходов. Повреждение ножей рубительного органа содержащимися в них примесями может вызвать значительные дополнительные издержки (Alakangas et al. 1999).

Для переработки лесопильных отходов также могут использоваться молотковые и пластинчатые дробилки. Дробилки значительно менее, чем рубительные машины, чувствительны к примесям — таким, как камни и металлические предметы. Вместе с тем дробилки представляют собой тяжелые машины большой мощности, которые трудно транспортировать. Также качество щепы, полученной в дробилке, обычно значительно ниже качества щепы, произведенной рубительной машиной, так как она содержит длинные щепки, которые могут затруднять работу питающего транспортера. Поэтому дробилки более пригодны для использования на объектах, где не предъявляются высокие требования к качеству щепы и имеются лучшие по сравнению с лесоскладом условия для монтажа и эксплуатации таких машин.

5.4.4.2 Транспортировка на дальние расстояния

Щеповозы, используемые для транспортировки щепы, производимой на верхнем складе, обычно оборудуются подкузовным транспортером или самосвальным бункером с боковой разгрузкой и имеют объем грузового пространства от 90 до 120 м³. Вес без груза щеповоза обычного типа составляет 23 т, что позволяет транспортировать груз щепы весом 37 т (максимальная допустимая нагрузка на мост может составлять, как, например, в Финляндии, 60 т). При транспортировке щепы с очень высоким содержанием влаги возможна перегрузка щеповоза, в то время как при транспортировке сухой щепы вес щеповоза с грузом значительно ниже максимально допустимого полного веса (Alakangas et al. 1999).

Величина издержек, связанных с транспортировкой щепы, зависит от расстояния транспортировки и числа имеющихся щеповозов. Оптимизация логистики использования рубительной машины и щеповозов оказывает значительное воздействие на величину издержек. В этой "горячей цепочке" критическими факторами являются обеспечение полной загрузки обеих машин и минимизация времени ожидания в процессе работы. В случае, если рубительная машина и щеповоз принадлежат различным подрядчикам, оптимизация логистики является более сложной задачей.



Рис. 5.28. Щеповоз с рубительной машиной MOXA (фотография: VENET).

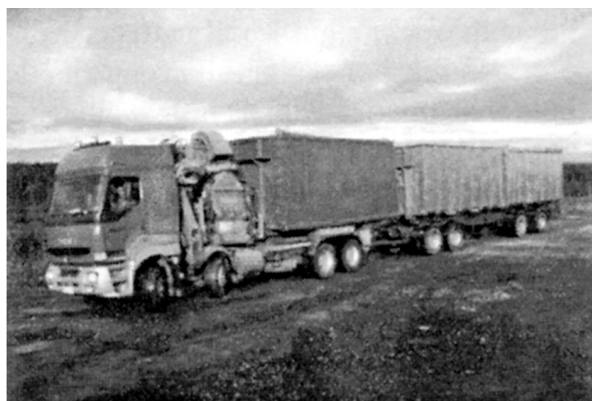


Рис. 5.29. Щеповоз с рубительной машиной компании ВИИТА Ой (VIITA Oy) (фотография: BIOWATTI).

5.4.4.3 Щеповоз с рубительной машиной

В Финляндии имеется несколько объектов, на которых используются универсальные комбинированные производственные единицы, представляющие собой сочетание щеповоза и рубительной машины (рис. 5.28 и 5.29). Форвардер или сельскохозяйственный трактор формирует кипы лесосечных отходов на лесосеке или верхнем складе, которые затем перерабатываются рубительной машиной, смонтированной на щеповозе. Например, щеповоз с рубительной машиной MOXA (MOXA), смонтированный на шасси грузового автомобиля, может производить переработку на щепу деревьев непосредственно на лесосеке. Щеповоз с рубительной машиной MOXA, используемый как автоном-

ное транспортное средство, также может осуществлять загрузку других сменных грузовых контейнеров. Контейнеры могут либо доставляться непосредственно на объект конечного пользователя, либо оставаться на верхнем складе для последующей транспортировки. В этом случае отсутствует "горячая цепочка" с периодами простоев, которые характерны для производственных цепочек, включающих производство щепы и использование промежуточных пунктов складирования — таких, например, как верхний склад (Hamalainen & Pankakari 1998).

5.4.4.4 Издержки производства щепы на верхнем складе

Как правило, за лесосечные отходы не взимается плата, как за лес на корню. Доход от заготовки лесосечных отходов владелец леса получает на этапе восстановительной рубки, что до этого времени было достаточным для него. Таким образом, это скорее вопрос приобретения прав на заготовку, чем закупки лесосечных отходов. Договор об этом можно заключать на этапе подписания контракта о продаже деловой древесины с заготовительной компанией. Как указывалось ранее, окучивание лесосечных отходов обычно производится параллельно с проведением с валкой товарного леса и, следовательно, должно быть оговорено сторонами, заключившими контракт. Алакангас (Alakangas et al. 1999) определяет следующие генерирующие издержки — типичные фазы производственной цепочки при производстве щепы на верхнем складе. Примерная оценка доли различных операций в общей сумме издержек приведена в табл. 5.2:

1. Приобретение прав на рубку леса/приобретение прав на заготовку.
2. Окучивание лесосечных отходов в процессе заготовки товарного леса, которое может замедлять ход лесозаготовительных работ.
3. Транспортировка лесосечных отходов на верхний склад.
4. Производство щепы на верхнем складе.
5. Транспортировка щепы из лесосечных отходов на дальние расстояния.
6. Организация всех этапов процесса закупки/доставки сырья.

Таблица. 5.2. Примерные издержки в производственной цепочке по производству щепы на верхнем складе. Типичный пример схемы распределения издержек в Финляндии (Alakangas et al. 1999).

Этап работ	Стоимость, евро/МВт·ч	Стоимость, ~ %
Приобретение прав на заготовку	0,50	5
Окучивание лесосечных отходов и возможное замедление процесса лесозаготовительных работ	0,67	7
Трелевка лесосечных отходов, 200 м	1,34-1,68	18
Производство щепы на верхнем складе	2,18-3,36	36
Транспортировка щепы на дальние расстояния, 50 км	2,69	29
Организация процесса закупки/доставки	0,50	5
ИТОГО	7,21-9,41	100

5.4.5 Издержки производства щепы в условиях лесосеки

Процесс переработки на щепу лесосечных отходов на лесосеке включает практически те же технологические операции, что и процесс производства щепы на верхнем складе. Лесосечные отходы укладываются в кучи вдоль лесосечного пути или просеки, откуда они могут легко загружаться на стол подачи сырья передвижной рубительной машины. Основные этапы этой технологической цепочки представлены на рис 5.30.



Рис. 5.30. Основные этапы процесса переработки щепы на лесосеке (Источник: VTP Энерджи).

5.4.5.1 Производство щепы из лесосечных отходов в условиях лесосеки

Производство щепы в условиях лесосеки основано на использовании одной агрегатной машины, способной выполнять несколько этапов работ. Как правило, передвижные рубительные машины монтируются на шасси форвардеров. В настоящее время на рынке имеется несколько производителей, предлагающих рубительные машины различной производительности. Рубительная машина комплектуется контейнером объемом от 10 до 20 насыпных м³, который загружается щепой, произведенной на лесосеке из зеленых лесосечных отходов (рис. 5.31). Контейнер разгружается опрокидыванием в сменные контейнеры на верхнем складе у магистральной дороги, куда передвижная рубительная машина доставляет груз щепы. Перемещение передвижной рубительной машины с одной лесосеки на другую может осуществляться на низком автоприцепе, или при коротких расстояниях между лесосеками передвижная рубительная машина может передвигаться самостоятельно по лесным дорогам.



Рис. 5.31. Передвижная рубительная машина производит переработку лесосечных отходов (фото: BENET).

Передвижные рубительные машины, транспортирующие щепу вне дороги, т.е. по лесной местности, более чувствительны к состоянию местности, например при передвижении по мягкому грунту или каменистой местности, чем форвардеры обычного типа. В зимний период процесс производства щепы могут осложнять высокая влажность или выпадение большого количества снега, затрудняющие обеспечение удовлетворительного качества щепы. Ценовая конкурентоспособность передвижной рубительной машины также снижается при больших расстояниях транспортировки щепы. Кроме того, размещение сменных контейнеров на верхнем складе требует устройства площадок большой площади с ровной поверхностью.

5.4.5.2 Транспортировка щепы на дальние расстояния

Транспортировка в сменных контейнерах является эффективным методом перевозки лесной щепы, произведенной передвижными рубительными машинами. В этом случае фазы производства

щепы и дальней ее транспортировки не образуют "горячей цепочки", если имеется достаточное количество сменных контейнеров. Как правило, щеповозы транспортируют контейнеры объемом от 30 до 50 насыпных м³. При этом возможна одновременная транспортировка нескольких контейнеров, что увеличивает общий объем груза до 80-100 м³.

5.4.5.3 Издержки производства щепы у потребителя

Производственные издержки при производстве щепы на лесосеке генерируют пять этапов работ (табл. 5.3):

1. Приобретение прав на рубку леса/приобретение прав на заготовку.
2. Окучивание лесосечных отходов в процессе заготовки товарного леса, которая может замедлять ход лесозаготовительных работ.
3. Переработка лесосечных отходов в щепу и на лесосеке и транспортировка щепы по лесной дороге к верхнему складу у магистральной дороги.
4. Транспортировка щепы из лесосечных отходов на дальние расстояния.
5. Организация всех этапов процесса закупки/доставки сырья.

Таблица 5.3. Примерные издержки в производственной цепочке по производству щепы в условиях лесосеки. Типичный пример схемы распределения издержек в Финляндии (Alakangas et al. 1999).

Этап работ	Стоимость, евро/МВт·ч	Стоимость, ~ %
Приобретение прав на заготовку	0,50	5
Окучивание лесосечных отходов и возможное замедление процесса лесозаготовительных работ	0,67	7
Производство щепы на лесосеке и транспортировка щепы на лесосеке, 200 м	4,20-5,71	60
Транспортировка щепы на дальние расстояния, 50 км	2,18	23
Организация процесса закупки/доставки	0,50	5
ИТОГО	7,38-9,56	100

5.4.6 Производственная цепочка по производству щепы на объекте конечного пользования

Третьей основной производственной цепочкой по переработке лесосечных отходов является процесс переработки на щепу или измельчение лесосечных отходов на объекте конечного пользования, который, как правило, является более экономически эффективным, чем процесс переработки на лесосеке или верхнем складе. Основным проблемным звеном в этой цепочке является дальняя транспортировка лесосечных отходов. В настоящей главе представлены два основных варианта: 1) цепочка с переработкой "обычных", т.е. насыпных, лесосечных отходов; 2) цепочка, в которой прессованием или пакетированием лесосечных отходов формируют "бревна из лесосечных отходов". Последняя операция выполняется на лесосеке перед отправкой "бревен" для дальнейшей переработки на другие объекты. Ниже указаны характеристики процесса переработки на щепу или измельчения лесосечных отходов:

- ◆ Отсутствуют проблемы, которые могут возникать в "горячей цепочке".
- ◆ Более высокая экономическая эффективность, чем при производстве щепы на лесосеке или верхнем складе.
- ◆ Производительность производства щепы на 20% выше, чем при производстве щепы на верхнем складе.
- ◆ Наибольшая экономическая эффективность обеспечивается при транспортировке на расстояние менее 55 км.
- ◆ Требуется уплотнение груза и/или увеличение грузового пространства.
- ◆ Требуется использование тяжелого крана.
- ◆ Проблемы, которые могут возникнуть на объекте конечного пользователя, включают повышенный уровень шума и образование пыли, а также необходимость использования достаточно больших площадей для переработки и хранения щепы (Alakangas et al. 1999).

5.4.6.1 Насыпные лесосечные отходы

Основные этапы процесса переработки лесосечных отходов на объекте конечного пользования представлены на рис. 5.32.



Рис. 5.32. Переработка на щепу и измельчение лесосечных отходов на объекте конечного пользования (Фотография: VTT Энерджи).

К транспортным средствам, осуществляющим дальнюю транспортировку лесосечных отходов, предъявляются следующие требования:

- ♦ грузовое пространство транспортного средства должно иметь максимальные допустимые размеры;
- ♦ используется кузов, грузовое пространство которого ограничивается дном и бортами, при перевозке таких видов древесного топлива, как щепа и торф;
- ♦ транспортные средства должны быть оборудованы кранами для погрузки и разгрузки лесосечных отходов, а также для уплотнения лесосечных отходов;
- ♦ специальные захваты для лесосечных отходов более пригодны для погрузки лесосечных отходов, чем захваты обычного типа.

Плотность транспортируемых лесосечных отходов может быть повышена с помощью гидравлических уплотнительных цилиндров и фиксирующих брусьев. Недостатками этого метода являются дополнительные издержки и довольно сложный состав оборудования. Типичный грузовой автомобиль, осуществляющий транспортировку лесосечных отходов, показан на рис. 5.33.

Дробилки и рубительные машины большой мощности являются наиболее пригодными для переработки лесосечных отходов в щепу на объектах конечного пользования. Дробилки являются мощными тяжелыми машинами, перемещение которых может представлять трудности. Вместе с тем они удобны в обслуживании и могут быть легко автоматизированы. Дробилки также малочувствительны к примесям, таким как камни и металлические материалы. Дробленка, вырабатываемая дробилками, имеет относительно низкое качество из-за содержания в ней длинных щепок. Поэтому дробилки рекомендуется использовать только на достаточно крупных объектах, где топливный материал с содержанием таких частиц не нарушает



Рис. 5.33. Грузовой автомобиль для перевозки лесосечных отходов. Фотография: ИТИ-Консультинти (УТУ-Консультинти).

процесс подачи транспортером топлива в топку котла. Производительность дробления древесины/эффективный рабочий час составляет от 60 до 100 насыпных м³ (Pulkkinen 1993).

5.4.6.2 Издержки переработки на щепу лесосечных отходов у потребителя

Производственные издержки при переработке на щепу/дроблении лесосечных отходов на объекте конечного пользования генерируют семь этапов работ (табл. 5.4):

1. Приобретение прав на рубку леса/приобретение прав на заготовку.
2. Окучивание лесосечных отходов в процессе заготовки товарного леса, которая может замедлять ход лесозаготовительных работ.
3. Трелевка (транспортировка) лесосечных отходов в лесу.
4. Транспортировка щепы из лесосечных отходов на дальние расстояния.
5. Разгрузка и подача лесосечных отходов в дробилку/рубительную машину.
6. Дробление/переработка на щепу лесосечных отходов.
7. Организация всех этапов процесса закупки/доставки сырья.

Таблица 5.4. Примерные производственные издержки при переработке на щепу/дроблении лесосечных отходов на объекте конечного пользования. Типичный пример схемы распределения издержек в Финляндии (Alakangas et al. 1999).

Этап работ	Стоимость, евро/МВт·ч	Стоимость, ~ %
Приобретение прав на заготовку	0,50	6
Окучивание лесосечных отходов и возможное замедление процесса лесозаготовительных работ	0,67	8
Трелевка лесосечных отходов на лесосеке, 200 м	1,34-1,68	18
Транспортировка щепы на дальние расстояния, 50 км	4,20	47
Разгрузка и подача лесосечных отходов в дробилку/рубительную машину	0,50	6
Дробление/переработка на щепу лесосечных отходов	0,84	9
Организация процесса закупки/доставки	0,50	6
ИТОГО	8,55-8,89	100

5.4.6.3 Пакетированные лесосечные отходы

Пакетирование лесосечных отходов является одним из методов уплотнения сырьевого материала с целью повышения производительности дальнейшей транспортировки. В Швеции были разработаны по меньшей мере два метода, включая метод Файберпак (Fiberpac) и Вуд Пак (Wood Pac), которые также были проверены на практике в Финляндии. Например, крупная финская лесопромышленная компания УПМ-Киммене Лтд (UPM Kymmene Ltd) в настоящее время проводит собственные экспериментальные испытания следующего метода пакетирования. Погрузчики обычного типа загружают лесосечные отходы в пакетировочную машину, смонтированную на шасси лесозаготовительной машины (рис. 5.34). Затем пакетировочная машина уплотняет и связывает лесосечные отходы, формируя "бревна", имеющие форму сигар или сосисок.



Рис. 5.34. Формирование бревен из лесосечных отходов методом пакетирования (фотография: УПМ-Киммене Лтд).

Производительность машины составляет 15-20 бревен из лесосечных отходов/час; одно "бревно" весит приблизительно 450 кг и имеет теплотворную способность 1 МВт/ч.

Затем бревна из лесосечных отходов транспортируются на верхний склад форвардером обычного типа. Конструкция форвардера не требует изменений, хотя удлинение рабочего пространства позволяет повысить грузоподъемность и производительность машины. Форвардер может одновременно транспортировать на верхний склад до 30 бревен из лесосечных отходов.

Для транспортировки таких бревен также могут использоваться лесовозы обычного типа с прицепами. Лесовоз с прицепом может транспортировать 65-70 бревен из лесосечных отходов. Они также могут транспортироваться вместе с деловой древесиной, например, в кузов лесовоза могут быть погружены балансы, а в прицеп – бревна из лесосечных отходов (рис. 5.35).

Разгрузка бревен из лесосечных отходов производится на объекте конечного пользования с применением оборудования для разгрузки балансовой древесины. Наиболее эффективным методом является разгрузка бревен из лесосечных отходов непосредственно из лесовоза на стол подачи сырья дробильной машины (рис. 5.36).



Рис. 5.35. Погрузка бревен из лесосечных отходов в семиосный лесовоз (фотография: УПМ-Киммене Лтд).



Рис. 5.36. Бревна из лесосечных отходов на столе подачи сырья на переработку (фотография: УПМ-Киммене Лтд)

5.4.6.4 Издержки переработки на щепу кусковых лесосечных отходов у потребителя

Производственные издержки при переработке на щепу/дроблении бревен из лесосечных отходов на объекте конечного пользования генерируют восемь этапов работ (табл. 5.5):

1. Приобретение прав на рубку леса/приобретение прав на заготовку.
2. Окучивание лесосечных отходов в процессе заготовки товарного леса, которая может замедлять ход лесозаготовительных работ.
3. Пакетирование лесосечных отходов, формирование бревен из лесосечных отходов.
4. Транспортировка бревен из лесосечных отходов на верхний склад.
5. Транспортировка бревен из лесосечных отходов на дальние расстояния.
6. Разгрузка и подача бревен из лесосечных отходов в дробилку/рубительную машину.
7. Дробление/переработка на щепу лесосечных отходов.
8. Организация всех этапов процесса закупки/доставки сырья.

Таблица 5.5. Примерные производственные издержки при переработке на щепу/дроблении бревен из лесосечных отходов на объекте конечного пользования. Расчетная схема.

Этап работ	Стоимость, евро/МВт·ч	Стоимость, ~ %
Приобретение прав на заготовку	0,50	5
Окучивание лесосечных отходов и замедление процесса лесозаготовительных работ	0,67	7
Пакетирование лесосечных отходов	1,85-2,35	24
Трелевка бревен из лесосечных отходов на лесосеке, 200 м	0,84-1,68	17
Транспортировка бревен из лесосечных отходов на дальние расстояния, 50 км	2,69-3,19	32
Разгрузка и подача бревен из лесосечных отходов в дробилку/рубительную машину	0,17	2
Дробление/переработка на щепу бревен из лесосечных отходов	0,84	8
Организация процесса закупки/доставки	0,50	5
ИТОГО	8,06-9,90	100

5.5 ПОБОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ

Как указывалось в главах 3 и 4, побочные продукты лесной промышленности образуют значительный источник энергии из древесины. В этом случае речь идет в основном о побочных продуктах, которые образуются в процессе производства основной продукции – такой, например, как пиломатериалы. Поэтому мы не описываем процессы лесопильного производства как таковые, но можем заключить, что предприятия механической обработки внедряют все более прогрессивные методы и технологии. Например, скорость лесопиления на современных лесопильнях составляет от 75 до 150 м в минуту. Возрастает уровень автоматизации технологических линий и внедряются новые этапы производственных процессов. Так, при планировании производственного процесса можно оптимизировать производство и потребление энергии.

Предприятия по производству фанеры и картона могут потреблять весь объем производимой ими биоэнергии, в то время как лесопильные предприятия производят избыточную энергию в форме побочных продуктов. Энергия, потребляемая при сушке древесины, составляет около 80% всех энергетических потребностей лесопильного предприятия. В настоящее время происходит быстрое развитие рынков побочных продуктов деревообрабатывающей промышленности. Это стимулирует развитие еще одной отрасли промышленности – переработки древесины в топливные гранулы и брикеты. Производственные цепочки этих облагороженных видов топлива описываются в главе 5.6.

5.6 ОБЛАГОРОЖЕННЫЕ ВИДЫ ТОПЛИВА

5.6.1 Технология производства древесных гранул

Заводы по производству гранул, действующие во многих странах мира, получают, сортируют, прессуют и охлаждают сырье, преобразуя его в удобную для применения форму топлива – топливные гранулы, упаковка которых может производиться в соответствии с потребностями и рекомендациями заказчиков. Предприятия по производству гранул дополняют и поддерживают различных производителей изделий из древесины, используя производимые ими "отходы" или, точнее, побочные продукты, которые становятся сырьем, или исходным материалом, для предприятий по производству гранулированного топлива. Как правило, опилки или другое сырье транспортируются на предприятие по производству гранулированного топлива на большегрузных автоприцепах, что является начальным этапом производственного процесса.

Сырье подается в оборудование производственной линии, где оно подвергается сушке до требуемого уровня влажности. Перед поступлением на этап изготовления гранул сырье размалывается до

однородной массы. Затем перерабатываемая древесная пыль продавливается через отверстия вращающейся матрицы. Древесная масса нагревается и происходит мгновенное разжижение содержащихся в ней смол и связующих веществ (лигнина), которые действуют в качестве клея, связывая вещество гранул, при этом обычно не требуется внесения каких-либо добавок. Древесная масса выходит из отверстий диска подобно спагетти, и полученный материал разрезают на части требуемой длины, составляющей обычно 10-30 мм. После этапа прессования гранулы отверждаются охлаждением. После этого полученные гранулы можно упаковывать в мешки, транспортировать и подвергать другим видам обработки.

Последующее, более детальное описание процесса производства гранул основано на данных, содержащихся в публикации Винтербэка (Vinterback (1995)). Производственный процесс включает три основных этапа:

1. Хранение и предварительная обработка сырья.
2. Сушка сырья.
3. Процесс производства гранул.

Сырье, например опилки, подается через сито и детектор металла в молотковую дробилку, где подвергается измельчению. Степень измельчения сырья, предназначенного для изготовления гранул, должна быть выше, чем степень измельчения сырья, используемого для производства брикетов. Просеиватель задерживает камни, гравий и другие примеси, а во взаимодействии с детектором металла — также и частицы металла.

Опилки, влажность которых составляет обычно более 50%, подсушиваются. Частичная или полная сушка опилок производится перед размолотом в камере предварительной сушки пропусканием через опилки газообразного сушильного агента. После подсушивания влажность сырья составляет приблизительно 10%. В случае использования сухого сырья, такого, например, как шлифовальная пыль или опилки, оно подается непосредственно в дробилку (рис. 5.37). Дозирующий питатель осуществляет равномерную подачу сырья в дробилку, где поступивший материал измельчается в более мелкие и однородные фракции. Затем полученная древесная пыль собирается на дне циклона, после чего подается на шлюзовый питатель, выравнивающий поток подаваемого материала перед его поступлением на пресс-гранулятор. После разделения отработанного газа и водяной влаги высушенная и измельченная древесная масса подается на пресс-гранулятор. Перед прессованием в массу может добавляться связующий агент для увеличения прочности конечного продукта. Обычно в качестве связующего агента используется сульфонат лигнина в пропорции 1% от общего веса. Однако внесение добавок во многих случаях не требуется. Часто используется водяной пар, позволяющий сократить потребление энергии и уменьшить износ оборудования линии по производству гранул.

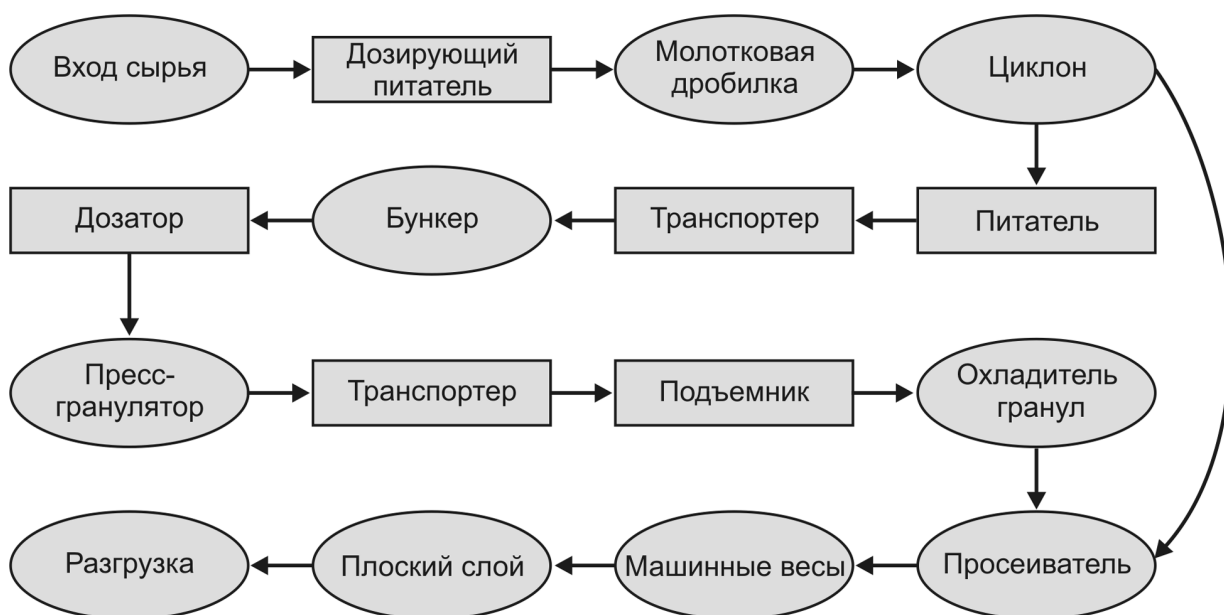


Рис. 5.37. Этапы производства гранул (Vinterback (1995)).

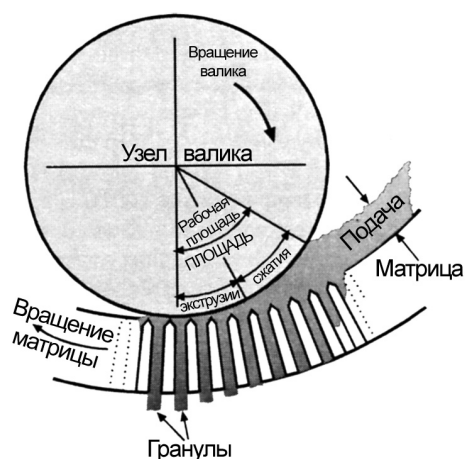


Рис. 5.38. Пресс-гранулятор (Vinterback (1995).

Принципиальная схема пресс-гранулятора включает матрицу и 2-5 цилиндров (рис. 5.38). Под воздействием цилиндров древесная масса продавливается через отверстия в матрице в удлиненные цилиндры диаметром 6-12 мм. Благодаря трению сформированные гранулы имеют высокую температуру. После пропускания через цилиндры теплый материал разделяется на отрезки заданной длины, т.е. гранулы требуемой формы. Сразу же после этапа прессования гранулы охлаждаются и приобретают необходимую прочность, что делает их пригодными для хранения и транспортировки заказчиком.

Имеются два типа конструкции пресс-гранулятора: с плоской или кольцеобразной матрицей (рис. 5.39). Температуру в случае ее повышения можно регулировать, изменяя толщину пластины матрицы.

В процессе производства регулярно осуществляется контроль качества гранул. Контроль состояния сырья осуществляется до и после этапа сушки, а также после пропускания массы через просеиватель. Выполняется определение влажности и единичного веса и осуществляется контроль качества просеивания. Анализ готовых гранул проводится после этапов прессования и охлаждения, а также при хранении на складе, где выполняется определение характеристик плотности и прочности гранул.

Дополнительную информацию о процессе производства гранул можно получить на предприятиях, которые могут использовать несколько отличающиеся от описанных технические решения в зависимости, например, от типа сырья или объемов производства.

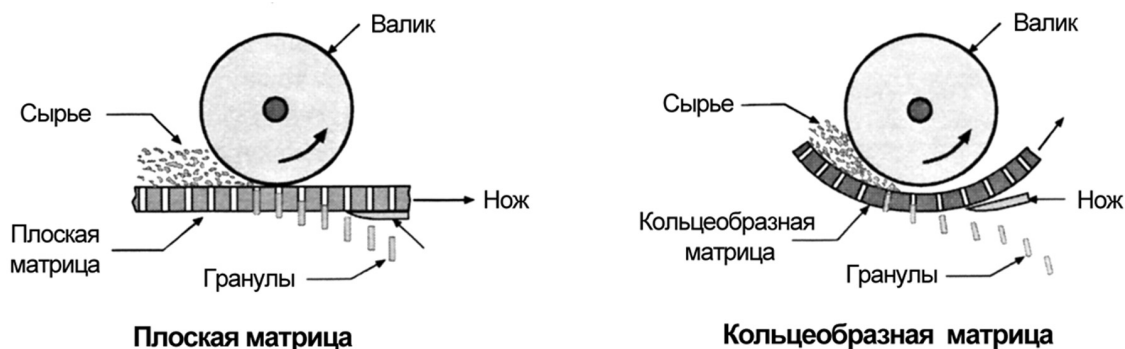


Рис. 5.39. Плоский и кольцеобразный пресс-гранулятор матрица (Vinterback (1995).

5.6.2 Технология производства древесных брикетов

Следующее описание процесса производства брикетов основано на данных, содержащихся в публикации Винтербэка (Vinterback (1995)). Обычно древесные брикеты производятся путем подсушивания сырья до уровня влажности 10% и последующего прессования сырья в брикетном прессе, где сырье подвергается сжатию под высоким давлением, создаваемым пресс-экструдером. Как и в процессе производства гранул, внесение связующих добавок обычно не требуется, так как материал брикетов связывается лигнином, содержащимся в древесине. Плотность материала готового брикета составляет 1,2 кг/дм³.

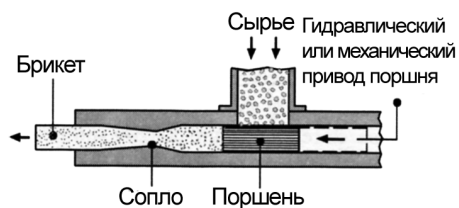


Рис. 5.40. Привод поршня по материалам публикации Винтербэка (Vinterback (1995).

Наиболее распространенным методом производства брикетов в Швеции является изготовление их с использованием пресс-экструдера (рис. 5.40). Машина включает поршневой экструдер, который выдавливает сырье через сопло. Так как сопло имеет конусообразную форму, материал, проходящий через него, нагревается под воздействием трения, достигая температуры 150-300°C. При прохождении через сопло материал формируется в брикеты и затем пропускается через

длинный охлаждающий туннель. На этапе охлаждения имеется достаточно времени для конденсации пара, образовавшегося от сжатия материала при формировании брикетов. Этот процесс необходим для закрепления формы брикетов. Если времени на то, чтобы произошла конденсация, не хватает, на выходе из пресса из-за разности в давлении произойдет разрыв брикетов.

Производительность промышленных прессов для производства брикетов составляет от 30 до 6000 кг/ч. Наиболее распространенными проблемами, связанными с промышленным производством брикетов, являются износ сопла, неравномерное дозирование сырья и колебания качества сырья.

Другой метод производства брикетов предусматривает использование специальных шнековых прессов. Имеются три типа таких прессов: конические шнековые прессы, шнековые прессы с нагреваемой матрицей и двухшнековые прессы.

В коническом прессе (рис. 5.41) сжатие создается конусообразным шнеком, который подает материал в камеру сжатия. После камеры сжатия материал продавливается через вращающуюся матрицу, которая придает брикетам требуемую форму. Затем вращающийся нож производит разрезку брикетов на отрезки заданной длины.

В шнековых прессах с нагреваемой матрицей сырьевой материал продавливается через сопло, имеющее форму конуса с незначительным наклоном, или прямое сопло. Сопло нагревается снаружи электрическим нагревателем до температуры 300°C. При этом материал нагревается до температуры 200°C.

Двухшнековый пресс состоит из двух шнеков, вращающихся в противоположном направлении относительно друг друга и камеры сжатия и расширения сырьевого материала. Образующий пар выпускается через несколько зон. Это позволяет использовать материал с более высокой влажностью, чем в процессе с применением одношнекового пресса. Размеры частиц сырья составляют от 30 до 80 мм. Производительность этого метода составляет от 2800 до 3600 кг/ч.

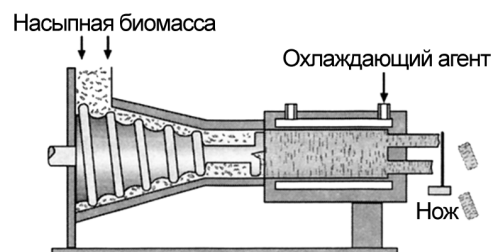


Рис. 5.41. Конический пресс по материалам публикации Винтербака (Winterback (1995).

6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛА, МЕТОДЫ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

6.1 ТЕОРИЯ ГОРЕНИЯ

В главе 6.1 использованы материалы из руководства "Forbranningsteknik" Ларса Вестера (Lars Wester).

6.1.1 Состав топлива

Основными компонентами горючего топлива являются горючее вещество, влага и зола (табл. 6.1.1).

Горючее вещество состоит из углерода (С), серы (S), водорода (H), кислорода (O) и азота (N). Термином "зола" определяются содержащиеся в топливе несгораемые вещества. Они включают окислы (соединения с кислородом), кальций (Ca), калий (K), натрий (Na), кремний (Si) и магний (Mg).

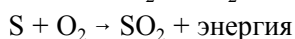
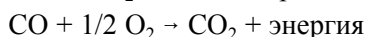
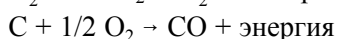
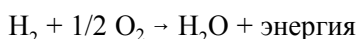
Таблица 6.1.1. Состав природного топлива

H ₂ O				Влага
С	S	H	O+N	Горючее вещество
CaO, K ₂ O, Na ₂ O, SiO ₂ , MgO				Зола

6.1.2 Процесс горения

Горение – это быстротекущий процесс с выделением тепла. Технические курсы содержат описание процессов окисления, например с участием кислорода, которые представляют интерес в данном случае.

При полном сжигании элементов, входящих в состав топлива – таких, как углерод (С), водород (H), сера (S), – которое происходит при высокой температуре в атмосфере, содержащей необходимое для полного сгорания количество воздуха, происходят следующие химические процессы с высвобождением энергии.



6.1.3 Участие воздуха в процессе горения

Любой процесс горения происходит с участием кислорода. Содержащийся в топливе кислород используется в реакциях окисления. Однако этого недостаточно для горения. В горении также принимает участие кислород, содержащийся в воздухе. Воздух состоит в основном из кислорода (O₂), азота (N₂), аргона (Ar) и двуокиси углерода (CO₂) (табл. 6.1.2.)

Таблица 6.1.2. Состав воздуха.

	Объем, %
O ₂	20,95
N ₂	78,09
Ar	0,93
CO ₂	0,03

Воздух, подаваемый для поддержания процесса горения, подразделяется на три вида – первичный, вторичный и третичный.

Назначение первичного воздуха:

- ♦ подсушивание топлива;
- ♦ подается для поддержания процесса горения при дожиге;
- ♦ охлаждение.

Назначение вторичного воздуха:

- ♦ подается для поддержания процесса горения газов;
- ♦ охлаждение.

Назначение третичного воздуха:

- ♦ обеспечение поступления кислорода.

6.1.4 Этапы сжигания топлива

Процесс сжигания твердого топлива включает несколько этапов (рис. 6.1.1) с различной температурой горения:

- ♦ высушивание;
- ♦ нагревание, газификация и сгорание газифицированных веществ;
- ♦ сгорание твердого углерода.

Высушивание топлива. Когда температура достигает 100°C , начинает испаряться влага и происходит высушивание топлива.

Пиролиз. Процесс пиролиза начинается при нагревании твердого органического вещества до температуры $100\text{--}105^{\circ}\text{C}$ (рис.6.1.2). Летучие вещества например, углеводородные соединения, начинают испаряться. Структура материала топлива изменяется, и его поверхность становится пористой.

Воспламенение твердого топлива (рис.6.1.3) происходит при температуре $200\text{--}300^{\circ}\text{C}$ в зависимости от вида топлива. Воспламенение сухого торфа происходит при температуре $225\text{--}280^{\circ}\text{C}$, мягкой древесины – при температуре 220°C и твердой древесины – при температуре 300°C .

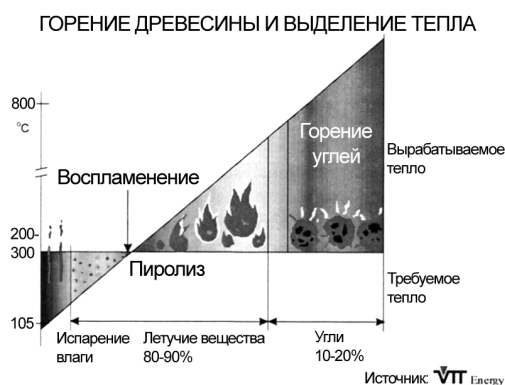


Рис. 6.1.1. Этапы горения.

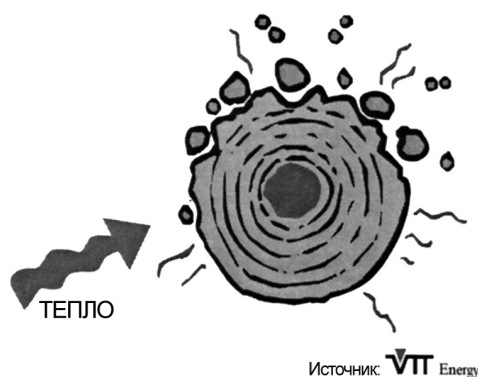


Рис.6.1.2. Пиролиз.

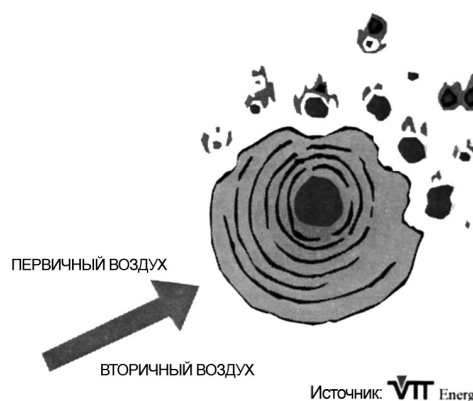


Рис.6.1.3. Воспламенение твердого топлива.

Сгорание летучих компонентов. При температуре $500\text{--}600^{\circ}\text{C}$ начинается процесс горения летучих компонентов, которые находятся на этом этапе в газообразной форме (рис. 6.1.4). Содержание летучих компонентов в горючем веществе составляет 75%, поэтому сжигание твердого топлива – это в основном сжигание газов.

Дожиг. При температуре $800\text{--}900^{\circ}\text{C}$ происходит сгорание твердого углерода и смолы.

6.1.5 Важные параметры



Рис.6.1.4. Сжигание газифицированных веществ.

Эффективным сжиганием топлива является сжигание с незначительными потерями теплоты. Следующие три параметра, так называемые три "Т", определяют эффективность сжигания топлива:

- требуемое время;
- требуемая температура;
- требуемая турбулентность.

Время

Этот параметр определяет требования к размерам топки, которые должны быть достаточно большими для того, чтобы частицы и капли имели достаточно время для полного сгорания до соприкосновения с холодными поверхностями, т.е. стенками топки или трубы.

Температура

Температура должна быть достаточно высокой для того, чтобы обеспечить полное сгорание топлива в зоне дожига.

Турбулентность

Турбулентность создается для того, чтобы подаваемый воздух смешивался с горючими газами. С этой целью в топку с высокой скоростью подается первичный, вторичный и, при необходимости, третичный воздух.

6.1.6 Полное и неполное сгорание

Сгорание является полным, если все горючие компоненты топлива полностью прореагировали с кислородом. Недостаток воздуха препятствует выделению энергии топлива, которая связывается веществами, содержащимися в топливе, например окисью углерода. В этом случае сгорание является неполным.

Теоретически необходимым является такое количество воздуха, при котором обеспечивается полное сгорание всех горючих компонентов топлива. Теоретически необходимое количество воздуха определяется и сравнивается с количеством располагаемого для сгорания воздуха. Отношение количества располагаемого для сгорания воздуха к теоретически необходимому количеству воздуха называется коэффициентом избытка воздуха. Для древесного топлива требуемый коэффициент избытка воздуха составляет от 1,25 до 1,40, т.е. избыток воздуха должен составлять от 25 до 40%. При коэффициенте избытка воздуха, равном, например, 0,9, дефицит воздуха составляет 10%.

На практике на установках, работающих на твердом топливе, невозможно обеспечить полное сгорание топлива из-за трудностей, связанных с получением эффективной топливной смеси и подачей необходимого количества воздуха в течение ограниченного периода времени.

6.1.7 Эффективное сгорание

При сжигании топлива необходимо минимизировать потери энергии. Потери составляют несгоревшие вещества и потери при горении, вызванные чрезмерным количеством избыточного воздуха.

Показателем эффективности процесса является содержание CO в отходящих газах. При сжигании топлива необходимо обеспечить содержание максимального количества CO₂ и отсутствие CO в отходящих газах. На практике в процессе горения отходящие газы всегда содержат некоторое количество CO.

Следующие параметры могут использоваться для контроля и регулирования процесса горения.

Количество O₂ в отходящих газах. При недостаточном количестве воздуха может увеличиться образование CO₂. С другой стороны, чрезмерное количество воздуха может уменьшать эффективность процесса горения и увеличивать образование термических NO_x.

Количество CO₂ в отходящих газах. Количество CO₂ в отходящих газах должно быть максимально приближено к предельному допустимому значению для древесного топлива, т.е. 20,4%. Однако, так как существует явно выраженная зависимость между содержанием O₂ и содержанием CO (рис. 6.1.5), вышеуказанное содержание O₂ в отходящих газах (5-8%) будет соответствовать содержанию CO₂ 13-16%.

Количество CO в отходящих газах. Содержание в отходящих газах несгоревших газов, в основном CO, должно быть минимальным и составлять менее 100 частей на миллион.

Количество NO₂ в отходящих газах. Количество NO₂ в отходящих газах зависит в основном от степени избытка воздуха и температуры. Температура не должна быть ни слишком высокой, так как в этом случае может увеличиться образование термических NO_x, ни слишком низкой, так как низкая температура горения не обеспечивает полное сгорание топлива. Эффективная температура горения может составлять от 850 до 1200°C.

Температура отходящего газа. Температура отходящего газа должна быть менее 150°C перед вытяжным вентилятором отходящего газа. Она может быть несколько выше при сжигании сухого топлива.

Топливо. Наиболее эффективное сгорание происходит при использовании топлива с однородным размером частиц одинаковой влажности.

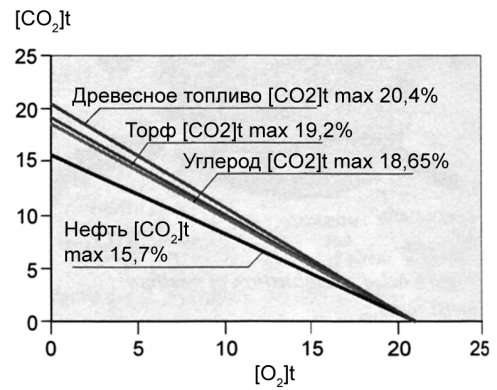


Рис. 6.1.5. Зависимость между содержанием кислорода (O₂) и содержанием двуокиси углерода (CO₂).

6.2 ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ И МУНИЦИПАЛЬНОЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ

Если не указано иное, при написании главы 6.2 использовались материалы из руководства "Forbranningsteknik" Ларса Вестера (Lars Wester).

Описываемые в настоящей главе котельные установки, работающие на твердом топливе, используются в основном в централизованных системах теплоснабжения. Более подробная информация о централизованных системах теплоснабжения содержится в разделе 8.1.

В настоящее время около 1,69 млн. квартир, 130 000 отдельных домов, большое число школ, больниц, административно-офисных комплексов и предприятий подключены к различным системам теплоснабжения, существующим в Швеции. Общая длина систем теплоснабжения составляет 10 000 км, а общее количество вырабатываемого ежегодно тепла — 43 ТВт (вебсайт Thy Hometpage of Svenska Fjarrvarmeforeningen, www.fvf.se).

Согласно данным Svenska Fjarrvarmeforeningen, в 1998 г. в Швеции различные системы централизованного теплоснабжения и установки комбинированного производства тепловой и электрической энергии, работающие на различных видах топлива, использовали 56,6 ТВтч топлива. 28% всего топлива, потребленного системами централизованного теплоснабжения, приходится на древесные виды топлива (табл. 2.6.1).

Таблица 6.2.1. Количество топлива, потребленное системами централизованного теплоснабжения в 1998 г.

Топливо	%
Нефть	10
Уголь	5
Древесное топливо	28
Отходы	11
Отходное тепло	7
Электроэнергия	3
Тепловые насосы	14
Торф	4
Природный газ	6
Другое	12

6.2.1 Конструкция котельной установки на твердом топливе

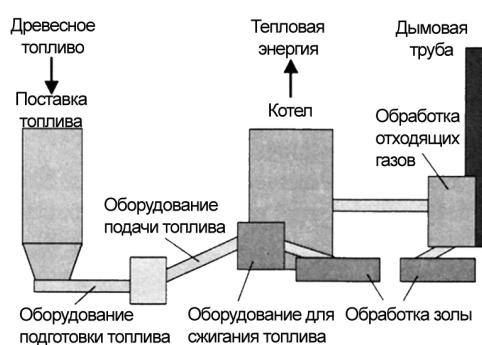


Рис. 6.2.1. Основные компоненты установки на твердом топливе.

Древесное топливо сжигается в котельных установках, работающих на твердом топливе. Котельная установка на твердом топливе состоит из следующих основных компонентов (рис.6.2.1):

- ◆ Участок приемки топлива.
- ◆ Хранение топлива.
- ◆ Оборудование для подготовки топлива.
- ◆ Оборудование для сжигания топлива.
- ◆ Котел.
- ◆ Оборудование для очистки отходящих газов.
- ◆ Дымовая труба.
- ◆ Утилизация золы.
- ◆ Оборудование управления производственным процессом.

6.2.2. Котлы и оборудование для сжигания топлива

6.2.2.1 Топки котлов с колосниковыми решетками

Колосниковая решетка представляет собой механическое устройство, предназначенное для подачи топлива в топку с целью эффективного сжигания топлива. Процесс сжигания топлива в воздушной среде включает три этапа:

- ◆ высушивание топлива;
- ◆ нагревание, испарение и сжигание газов;
- ◆ сжигание твердого углерода, т.е. дожиг.

Технология, предусматривающая разделение процесса сжигания на этапы, используется даже в случае непрерывной подачи топлива. Длительность этапов сжигания определяется используемым видом топлива, а также влажностью и размерами сжигаемого вещества.

Снижение давления воздуха должно происходить непосредственно над решеткой и ни в коем случае над слоем топлива в связи с тем, что эффективность процесса горения в значительной степени зависит от того, насколько точно выдерживается требуемая толщина слоя топлива.

Неподвижная наклонная колосниковая решетка

Неподвижная наклонная колосниковая решетка представляет собой наиболее простой тип оборудования, предназначенного для сжигания твердого топлива (рис. 6.2.2). Угол наклона решетки регулируется в зависимости от типа топлива и предварительной обработки топлива.

Под действием силы тяжести топливо передвигается к задней части топки и сжигается после того, как достигает конца решетки. Этот вид оборудования недостаточно приспособлен для использования различных видов топлива, так как угол наклона решетки может быть неодинаков в случае использования различных видов топлива и даже одного вида топлива, подвергшегося различной предварительной обработке.

Рис. 6.2.2. Неподвижная наклонная колосниковая решетка (Murphy et al. 1996).

Для охлаждения решетки могут использоваться трубы, через которые пропускается вода. Если колосниковая решетка не охлаждается, то необходимое охлаждение осуществляется первичным воздухом. Первичный воздух следует пропускать через колосники решетки из-под слоя топлива. В этом случае процесс высушивания топлива является более эффективным.

Воздух подается в камеру дожига через выпускное отверстие топки. Эффективность горения регулируется подачей первичного воздуха, а качество сжигания — подачей вторичного воздуха. При сжигании топлива с высоким содержанием влаги может требоваться предварительное нагревание воздуха. В противном случае сгорание газов может быть неполным.

При сжигании топлива с высоким содержанием влаги следует использовать топку с керамическими стенками и сводом, что позволит повысить температуру в топке и повысит эффективность высушивания и сгорания газов. При сжигании сухого топлива для охлаждения этих поверхностей используется система водяного охлаждения.

Топка с неподвижной колосниковой решеткой имеет постоянный КПД. Контроль за подачей топлива осуществляется посредством измерения уровня топлива или с помощью клапана, который обеспечивает подачу на решетку топлива, образующего слой требуемой толщины.

После окончания процесса горения зола собирается в золоборник, откуда она может транспортироваться гидравлическим скребковым транспортером или шнеком. Если решетка имеет большие зазоры между колосниками, частицы топлива и зола могут проваливаться через эти зазоры. Необходимо предусмотреть механизм для удаления этих материалов.

Неподвижные решетки также могут иметь подвижную концевую секцию. Решетки этого типа рассматриваются более подробно в следующем разделе (рис. 6.2.3).

Подвижная колосниковая решетка

Подвижная решетка смещается в меньшей степени, чем неподвижная решетка, так как колосники перемещают топливо через пространство котла. Скорость движения колосников решетки регулируется, что позволяет использовать различные виды топлива с различными характеристиками и размерами. Топливо также перемещается по мере его перемещения через пространство котла. Система подачи воздуха устроена так же, как и система подачи воздуха топки с неподвижной решеткой. Однако колосники подвижной решетки охлаждаются только первичным воздухом, что не позволяет уменьшать количество первичного воздуха пропорционально массе сжигаемого топлива. Поэтому в процессе сжигания при неполной загрузке в топке имеется некоторый избыток воздуха.

При сжигании топлива, имеющего высокую зольность, следует использовать подвижную колосниковую решетку. В противном случае имеется риск спекания золы в крупные куски, что затрудняет золоудаление. Зола и части сжигаемого материала легче проваливаются сквозь подвижную решетку, чем сквозь неподвижную решетку. Поэтому необходимо предусмотреть механизм удаления этих частиц. Например, части сжигаемого материала могут падать в резервуар с водой и оттуда удаляться в контейнер. Использование воды в системе золоудаления устраняет риск возгорания золы и предотвращает попадание воздуха в топку. Вода также защищает котел от воздействия локальных взрывов. Основным недостатком этой системы золоудаления является ее высокая стоимость.

Плоские решетки

Существуют различные классификации плоских решеток. Одной из них является классификация по способу подачи топлива на решетку.

Топливо может подаваться в топку из-под решетки с помощью винтового или поршневого питателя в реторту, помещенную на решетку (рис. 6.2.4). Первичный воздух подается из-под решетки или через верхнюю часть реторты. При необходимости воздух также может подаваться через боковые стенки топки. Зола удаляется

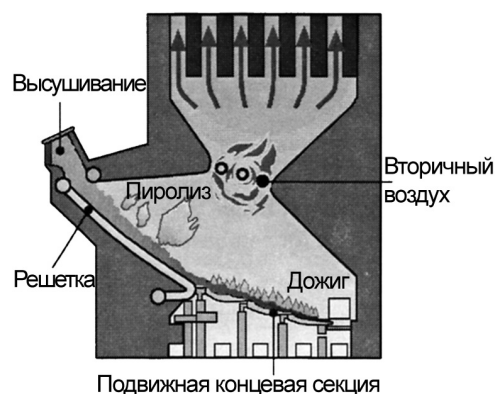


Рис. 6.2.3. Неподвижная колосниковая решетка с подвижной концевой секцией (Wester 1991).

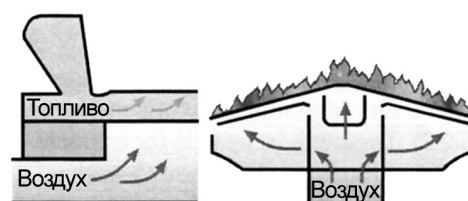


Рис. 6.2.4. Нижняя подача топлива (Wester 1991)

вручную. Решетка с такой системой подачи предназначена для использования в топках котлов малой мощности, работающих на древесной щепе.

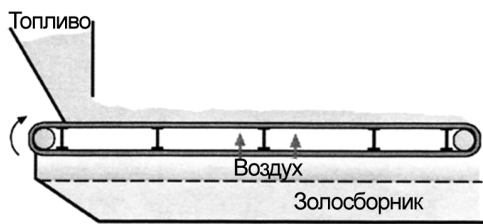


Рис. 6.2.5. Решетка "вандеррост" (wanderrost) (Wester 1991).

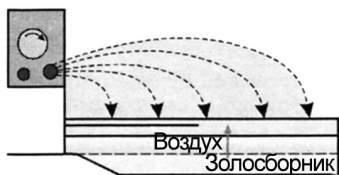


Рис. 6.2.6. Верхняя подача топлива (Wester 1991).

Цилиндрическая печь (ахон oven)

Цилиндрическая печь (ахон oven) используется для сжигания топлива с очень высоким содержанием влаги (рис.6.2.7), например щепы или коры, поставляемых с лесопильных предприятий, влажностью до 65%.

Печь содержит круглую плоскую решетку, из-под которой подается топливо. Первичный воздух также подается из-под решетки, а вторичный воздух подается над поверхностью слоя топлива. Третичный воздух с высокой скоростью подается в область выпускного отверстия. При использовании топлива с очень высоким содержанием влаги первичный воздух подогревается до температуры 150-250°C. Стенки печи, изготовленные из кирпича, не поглощают теплоты.

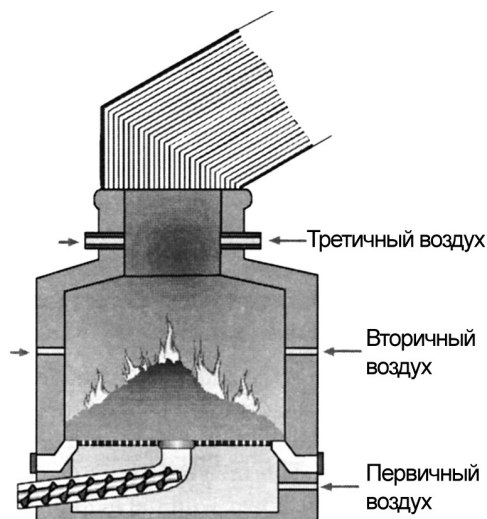


Рис.6.2.7. Цилиндрическая печь (Wester 1991).

6.2.3 Псевдоожиженный слой

Псевдоожиженный слой представляет собой слой частиц, через который пропускается нагнетаемый снизу воздух (рис 6.2.8). При увеличении скорости воздушного потока происходит квадратичное по отношению к скорости падение давления над слоем топлива. Затем при определенной скорости воздушного потока падение давления становится постоянным (рис. 6.2.9). Эту скорость называют минимальной скоростью сжижения. При этой скорости частицы начинают интенсивно перемещаться в потоке воздуха, приобретая свойства, напоминающие свойства жидкостей. Если скорость воздушного потока меньше этого предельного значения скорости, слой топлива остается статичным.

Если скорость воздушного потока превышает минимальную скорость сжижения, падение давления над слоем топлива более не увеличивается (п.п. 6.2.3.2 и 6.2.3.3).

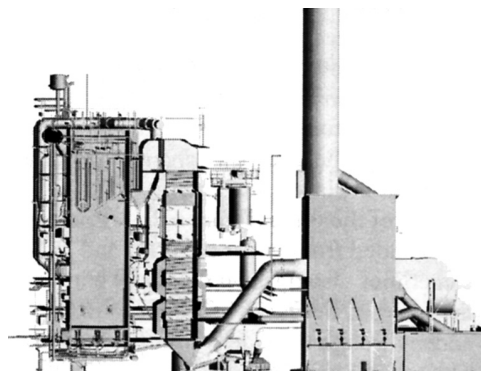


Рис 6.2.8. Псевдоожиженный слой (Wester 1991).

Сжигание топлива в псевдооживленном слое происходит внутри него. В псевдооживленном слое содержится только несколько процентов топлива, например щепы или торфа. Остальное вещество слоя состоит из инертных материалов — песка или золы.

Благодаря интенсивному теплопереносу в псевдооживленном слое происходит быстрое высушивание и испарение частиц, вовлекаемых в слой. Испаряющиеся частицы называют "угольной массой". Летучие компоненты сжигаются как газ вместе с частицами топлива. При этом критическими факторами становятся время пребывания в слое газа и время воздействия воздушного потока, которое должно быть достаточным для того, чтобы обеспечить полное сжигание летучих компонентов. Равномерное распределение топлива в объеме слоя обеспечивает эффективное сгорание топлива.

В псевдооживленном слое поддерживается относительно низкая температура горения, около 850°C, с тем, чтобы не допустить спекания частиц золы и создать максимально благоприятные условия для связывания серы в слое, в который с этой целью добавляют доломит или известняк.

В процессе горения в результате дробления увеличивается количество отдельных частиц. Когда частицы становятся достаточно мелкими, их можно удалить из слоя. Этот процесс называется сепарацией.

Находясь в псевдооживленном слое, частицы подвергаются воздействию относительно высокой температуры. Эта температура приблизительно на 100-300°C выше, чем средняя температура слоя. При удалении из слоя частиц температура быстро уменьшается до значения ниже 700°C и прекращается сгорание частиц угольной массы. Присутствие несгоревших частиц в золе нельзя исключить, но возможно минимизировать, поддерживая соответствующую скорость воздушного потока и используя топку соответствующей конструкции.

6.2.3.1 Контроль параметров псевдооживленного слоя

Контроль параметров слоя можно осуществлять с использованием следующих трех методов или сочетаний этих методов.

Регулирование количества топлива и воздуха, подаваемых в топку, обеспечивающее поддержание постоянной температуры циркулирующей воды. Поддерживается постоянное отношение количества топлива/количество воздуха с тем, чтобы получить требуемое содержание O_2 в отходящих газах.

Псевдооживленный слой разделен на зоны с тем, чтобы перекрыть поток воздуха в отдельные части слоя. Этот метод нельзя использовать при сжигании топлива с низкой зольностью.

При уменьшении количества материала слоя отключаются охлаждающие трубы слоя. Одновременно следует уменьшить количество топлива и воздуха.

Топливо может подаваться в топку либо снизу вверх над дном топки, либо над поверхностью слоя топлива (рис. 6.2.10). Подача топлива может производиться пневматическим или винтовым питателями. Для того, чтобы обеспечить равномерное распределение топлива в объеме топки, необходимо предусмотреть несколько точек подачи.

При активации псевдооживленного слоя материал слоя должен быть нагрет до температуры приблизительно 600°C с помощью стартовой горелки. Это сокращает период иницирования устройством процесса сжижения.

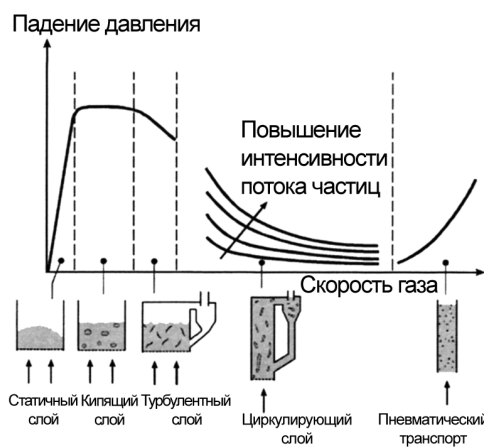


Рис 6.2.9. Падение давления (Wester 1991).

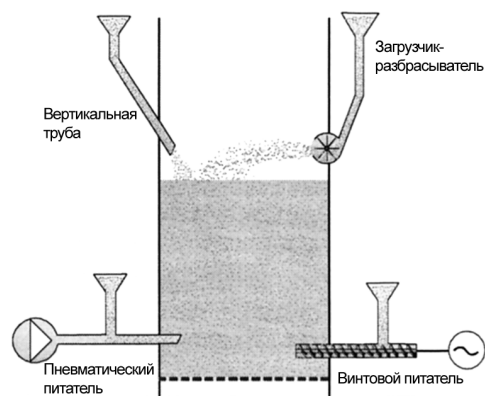


Рис 6.2.10. Подача топлива (Wester 1991).

6.2.3.2 Псевдооживленный слой обычного типа

Псевдооживленный слой обычного типа подразделяется на две категории: кипящий слой и турбулентный слой (рис. 6.2.11). Когда над слоем больше не увеличивается падение давления, "избыточный воздух" начинает проходить через слой в форме пузырьков воздуха, создавая кипящий слой.

С повышением скорости воздушного потока увеличивается образование пузырьков, появляющихся и исчезающих в различных частях слоя. Такой слой называется турбулентным. При использовании в качестве топлива коры и щепы, имеющих низкую теплоту сгорания, охлаждать слой обычно не требуется. Зола удаляется вместе с отходящими газами и задерживается пылеуловителем.

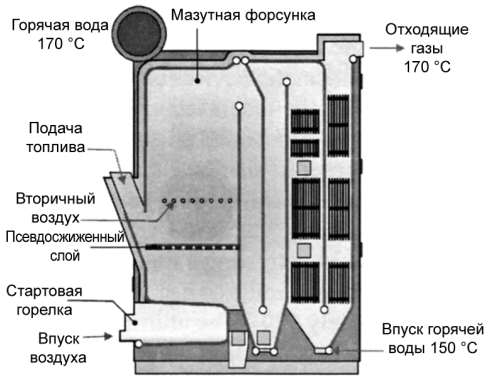


Рис 6.2.11. Кипящий слой (Wester 1991).

6.2.3.3 Циркулирующий псевдооживленный слой

В циркулирующем псевдооживленном слое скорость воздушного потока возрастает до уровня, при котором топливные частицы выносятся за пределы слоя. Части угольной массы, которые не успевают полностью сгореть, отделяются и переносятся в нижнюю часть топки.

Таким образом, условия сжигания топлива в такой топке несколько отличаются от условий сжигания в кипящем слое — в основном по времени действия воздушного потока и степени перемешивания частиц, которое в этой топке происходит более эффективно.

Концентрация частиц в слое может изменяться в зависимости от параметров рециркулирующего потока. Это позволяет использовать различные виды топлива, так как управляемость этого слоя значительно выше, чем управляемость кипящего слоя.

6.2.3.4 Сжигание топлива в нескольких псевдооживленных слоях

При сжигании топлива в нескольких псевдооживленных слоях псевдооживленные слои располагаются последовательно над участком подачи воздуха (рис. 6.2.12). В первом слое сжигание топлива осуществляется при температуре 900-950°C. Так называемое вторичное сжигание происходит при температуре около 850°C во втором (верхнем) слое.

Первичный воздух, подаваемый для поддержания процесса горения, равномерно распределяется над слоем топлива с помощью охлаждающей плиты, расположенной на дне топки. После образования псевдооживленного слоя в него подается топливо. Под воздействием газов, образующихся при сжигании топлива в первом слое, и потока вторичного воздуха, нагнетаемого через распределительное устройство подачи воздуха второго слоя, происходит флюидизация второго слоя. Несгоревшие частицы, увлекаемые отходящими газами первого слоя, захватываются вторым слоем для вторичного сжигания.

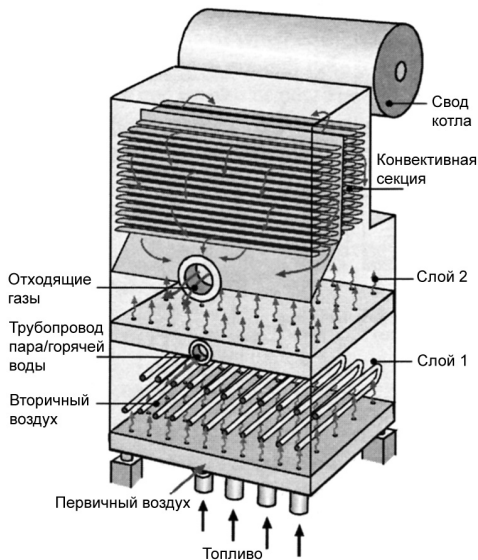


Рис 6.2.12. Сжигание топлива в нескольких псевдооживленных слоях.

6.2.4 Очистка отходящих газов

Источником частиц пыли и других частиц, содержащихся в отходящих газах, могут быть зола и продукты неполного сгорания топлива. Пылесборники, используемые на различных установках, включают различные механические пылесборники, скрубберы, электростатические пылеуловители и фильтры сепарации под давлением.

6.2.4.1 Механические пылесборники

Наиболее распространенным типом механического пылесборника является циклон, в котором отделение пыли происходит под воздействием сил инерции (рис 6.2.13). Газ, поступающий в циклон, закручивается, перемещается в нижнюю часть циклона и затем поднимается в среднюю часть циклона. Под воздействием центробежных сил частицы пыли отбрасываются к внутренней поверхности стенок циклона и затем падают под воздействием силы тяжести в конус циклона. Требуемая центробежная сила создается за счет либо поддержания высокой скорости потока воздуха, что вызывает падение давления, либо использования циклонов малого диаметра. Эффективная работа циклонов обеспечивается при их параллельном соединении. Циклон обеспечивает высокую степень сепарации частиц пыли диаметров менее 10 мкм, которые составляют более 90%.

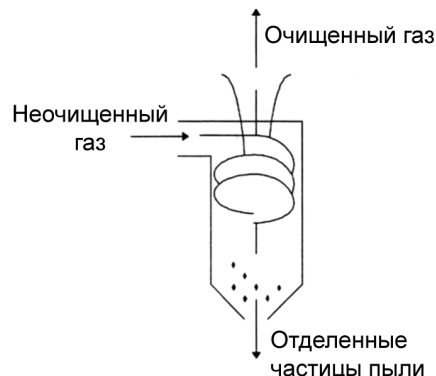


Рис 6.2.13. Циклон.

6.2.4.2 Скруббер

Подаваемый в скруббер газ соприкасается с аэрозолем или поверхностью жидкости (рис. 6.2.14). Как правило, очистка газа производится с помощью аэрозоля жидкости. Частицы пыли, поглощаемые жидкостью, удаляются фильтрацией. Вода также поглощает двуокись серы, которая придает воде коррозионные свойства. Поэтому материал скруббера должен быть коррозиестойчивым. Скруббер способен улавливать около 90% частиц пыли диаметром более 5 мкм.

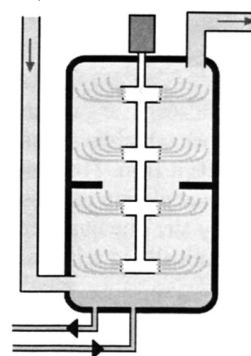


Рис 6.2.14. Скруббер.

6.2.4.3 Электростатический пылеулавливатель

В электростатическом пылеулавливателе сепарация пылевых частиц осуществляется под воздействием электростатического силового поля (рис. 6.2.15). Высокое электрическое напряжение подается между отрицательно заряженным разрядным электродом и положительно заряженным приемным электродом. Проходя через электростатическое силовое поле, частицы получают положительный или отрицательный заряд и притягиваются электродами. Затем уловленные частицы пыли удаляются с помощью механического или пневматического устройства.

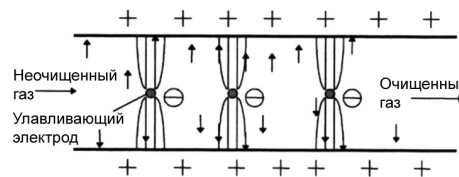


Рис 6.2.15. Электростатический пылеулавливатель.

6.2.4.4 Фильтры сепарации под давлением

В фильтрах сепарации под давлением сепарация осуществляется путем пропускания пылевых частиц через тканевый материал (6.2.16). Поэтому фильтр такого типа также называют тканевым. Этот фильтр также называют рукавным, так как фильтровальная ткань может помещаться внутрь рукава. Газы пропускаются через рукав, жестко смонтированный на опорной конструкции. Частицы пыли собираются в рукаве и затем удаляются продувкой рукава. Удаление частиц пыли также может производиться механическим способом путем вытряхивания рукава.

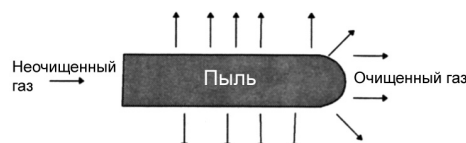


Рис 6.2.16. Фильтр сепарации под давлением.

6.2.5 Очистка от SO_x и NO_x

6.2.5.1 SO_x

В основном сера содержится в отходящих газах в форме оксидов серы. Наиболее эффективным способом снижения содержания серы в отходящих газах является применение топлива с низким содержанием серы. Если это невозможно, то следует предусмотреть меры по предотвращению выделения серы и ее окисления.

Существуют различные методы предотвращения выброса серы с отходящими газами. Все методы, описанные в настоящем разделе, предусматривают связывание серы золой, что предотвращает выброс серы с отходящими газами.

Жидкий раствор гидратированной извести Ca(OH₂) вводится в камеру, содержащую отходящие газы. Двуокись серы вступает в реакцию с известью, образуя вещество, состоящее в основном из сульфита кальция. Этот метод снижает выброс серы приблизительно на 80%.

Метод, предусматривающий введение извести в топку, может использоваться в традиционных установках, работающих на твердом топливе. Этот метод снижает содержание серы в выбросах приблизительно на 50%.

Известь также можно добавлять в материал псевдоожиженного слоя, при этом известь вступает в реакцию с двуокисью серы, образуя сульфит кальция. В этом случае удаляется приблизительно 80-90% серы.

6.2.5.2 NO_x

Выброс окислов азота может быть уменьшен с помощью различных мер, применяемых при сжигании топлива и/или посредством очистки отходящих газов. Ниже приводится ряд примеров снижения уровня выброса окисей азота.

Уменьшение количества избыточного воздуха

Этот метод является наиболее простым и дешевым методом снижения содержания окисей азота в отходящих газах. Измеряя уровень содержания кислорода в отходящих газах, соответственно регулируют количество избыточного воздуха. Для твердого топлива содержание кислорода в отходящих газах не должно превышать 5%.

Утилизация отходящих газов

При утилизации газов, подаваемых в камеру сгорания, повышается температура на всех участках, через которые проходят газы, что повышает температуру горения и содержание окислов азота.

Избирательная каталитическая очистка

При использовании метода избирательной каталитической очистки, в котором в качестве восстановителя применяется аммиак (NH₃), происходит восстановление окислов азота с образованием газообразного азота и воды. В этом процессе также используется катализатор, т.е. вещество, ускоряющее протекание реакции, но не участвующее в самой реакции.

6.3 ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ДОМОВ МАЛОЙ ПЛОЩАДИ

При написании главы 6.3 использовались материалы публикаций "Vedparmen" компании VedTek (VedTek) и "Pelletsparmen" института Jordbruksinstitutet.

В системах, использующих древесное топливо, для отопления домов малой площади обычно применяются водяные радиаторы с котлом, вырабатывающим горячую воду (разделы 6.3.1 и 6.3.2), или системы централизованного теплоснабжения (раздел 8.1).

Отопление с использованием водяных батарей

В системе отопления с использованием водяных батарей вода, нагреваемая котлом, подается в систему циркуляции, нагревая водяные батареи, излучающие тепло (раздел 6.3.1). Система циркуляции горячей воды включает расширительную емкость (см. рис. 6.3.6). Расширительная емкость требуется потому, что удельный объем воды увеличивается при нагревании. Циркуляционный насос

осуществляет циркуляцию воды в системе. Системы естественной циркуляции установлены в основном в старых домах.

Так как теплая вода легче, чем холодная, нагретая вода поднимается, поступая в водяные батареи. Отдав тепло, остывшая вода поступает по возвратному трубопроводу обратно в котел. Также применяется система отопления со встраиваемым в пол отопительным трубопроводом, которая чаще используется в новых домах.

Обычно котел включает водонагреватель. Вода, используемая водонагревателем и котлом, подается по разным трубопроводам. Однако при использовании древесного топлива рекомендуется перед водонагревателем устанавливать накопительный резервуар (раздел 6.3.1.3 и рис. 6.3.5), что позволит повысить эффективность сжигания топлива и нагрева воды в системе.

6.3.1 Котлы на древесном топливе

Водогрейные котлы, классифицируемые по материалу и методу изготовления котла, подразделяются на:

- ♦ кованые котлы (в действительности сварные котлы); те из них, которые предназначены для односемейных домов, в большинстве случаев являются сварными;
- ♦ литые котлы;
- ♦ комбинированные котлы с одной топкой, предназначенной для сжигания различных видов топлива (рис. 6.3.1);
- ♦ двухтопочные котлы с отдельными топками для различных видов топлива (рис. 6.3.2).

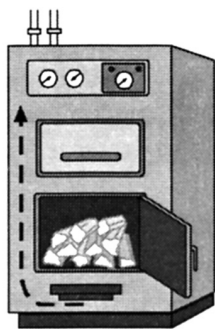


Рис. 6.3.1. Комбинированные котлы (VedTek 1996).

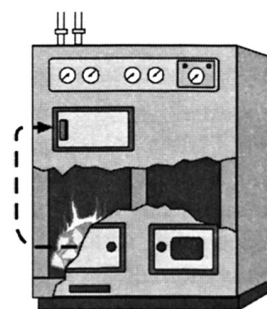


Рис. 6.3.2. Двухтопочные котлы (VedTek 1996).

Котлы также можно классифицировать по методу сжигания топлива:

- ♦ котлы с пережогом топлива;
- ♦ котлы с недожогом топлива;
- ♦ котлы с реверсивными топками.

Котлы, классифицируемые по методу контроля подачи воздуха, подразделяются на:

- ♦ котлы с естественной системой подачи воздуха;
- ♦ котлы с принудительной системой подачи воздуха вентиляторами.

6.3.1.1 Современные и устаревшие котлы

Котел может быть отнесен к классу современных устройств, если он отвечает следующим требованиям.

Котел должен иметь топку с тремя отдельными зонами газификации древесного топлива и сжигания газов. Он также должен быть оснащен системой переноса тепловой энергии, т.е. конвекции.

Камера сгорания газа должна быть изготовлена из керамического или другого материала, способного выдерживать температуру около 1000°C.

Конвективная секция, в которой нагревается вода котла, должна иметь достаточно большую длину для того, чтобы обеспечить охлаждение отходящих газов с 1000 до 250°C.

Современный котел на древесном топливе должен быть экологически безопасным оборудованием.

Котлы устаревших моделей редко отвечают этим требованиям. Передача тепла в этих котлах часто происходит через стенки топки, а выпуск отходящих газов осуществляется через верхнюю часть котла. Это снижает КПД и повышает уровень выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду.

6.3.1.2 Принципы сжигания топлива

В настоящее время в современных котлах в основном используются методы недожога топлива и сжигания топлива в реверсивной топке. Часто при проектировании котла бывает сложно определить, какой из методов наиболее пригоден для применения.

Недожог топлива

При недожоге топлива воздух подается в топку снизу, а отходящие газы выводятся через выпускное отверстие в нижней части топки (рис. 6.3.3). При этом сгорает нижняя часть топлива, а остальное топливо начинает гореть, постепенно оседая на прогретый слой.

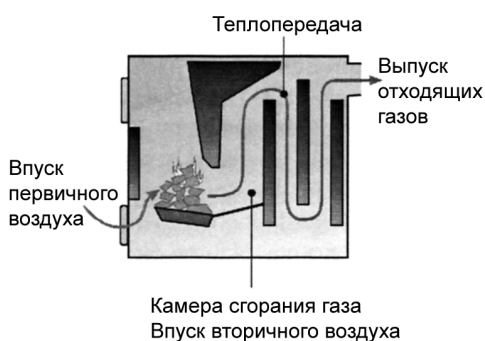


Рис. 6.3.3. Недожог.

Используемые древесные материалы необходимо разрезать на отрезки соответствующей длины и аккуратно укладывать в топке с тем, чтобы обеспечить эффективную работу котла.

Большинство котлов, работа которых основана на принципе недожога топлива, имеют современную конструкцию, в которой керамическая камера сгорания расположена между топкой и конвективной секцией. Обычно керамическая камера сжигания топлива помещается за топкой, что придает котлу удлиненную форму. КПД современных котлов, работа которых основана на принципе недожога топлива, обычно составляет 70-75%.

В котле этого типа необходимо обеспечить равномерное и беспрепятственное движение материала, оседающего на дно топки. Так как воздушный поток проходит только через нижнюю часть топки, древесину необходимо

Реверсивная топка

При сжигании топлива в реверсивной топке первичный воздух подается в топку над решеткой (рис. 6.3.4). Поток газа направлен сверху вниз, а керамическая камера расположена над решеткой. Как и при недожоге, в реверсивной топке в основном сгорает нижняя часть топлива, а остальная часть топлива постепенно оседает на дно топки.

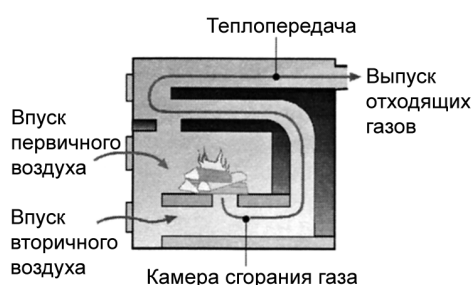


Рис. 6.3.4. Сжигание топлива в реверсивной топке.

КПД котлов с реверсивной топкой составляет от 70 до 80%. Хотя конвективная секция котла имеет довольно большие размеры, сам котел может быть не очень большим.

Отходящие газы могут выводиться из топки через выпускное отверстие в дне топки и направляться вверх по трубопроводу, проходящему по задней стенке котла, в дымовую трубу. Этот метод требует поддержания хорошей тяги в топке котла, так как отходящие газы должны направляться сверху вниз через решетку к выпускному отверстию, и его применение может представлять определенные сложности.

Использование вентиляторов для управления воздушным потоком обеспечивает более сбалансированное сжигание, чем естественная тяга. Часто на решетку подается вторичный воздух.

Когда происходит сжигание газов, направляемых из топки вниз через керамическую камеру, иногда может появляться пламя голубого цвета. Дым, образующийся при возникновении такого пламени, не содержит колосниковой пыли и содержит только незначительное количество загрязняющих веществ.

6.3.1.3 Накопительный резервуар

С тем, чтобы привести в соответствие потребность в тепловой энергии с характеристиками объема котла, котел должен быть оснащен накопительным резервуаром (рис. 6.3.5). При правильной установке накопительная емкость разделяет на слои теплую и холодную воду. Более тяжелая холодная вода опускается на дно накопительной емкости. Таким образом, горячая вода может отбираться из верхней части резервуара, а остывшая возвратная вода поступает из водяных радиаторов обратно в нижнюю часть накопительного резервуара, не охлаждая всю воду в резервуаре.

Использование накопительного резервуара является наиболее эффективным средством снижения нагрузки на окружающую среду. Современный керамический котел без накопительного резервуара горячей воды выбрасывает около 600 мг смол/МДж. Использование накопительного резервуара позволяет снизить этот уровень до 5 мг/МДж.

Накопительный резервуар устанавливается в средней части системы отопления (рис. 6.3.5). Выработываемая котлом теплота передается резервуару и от резервуара — водяным радиаторам.

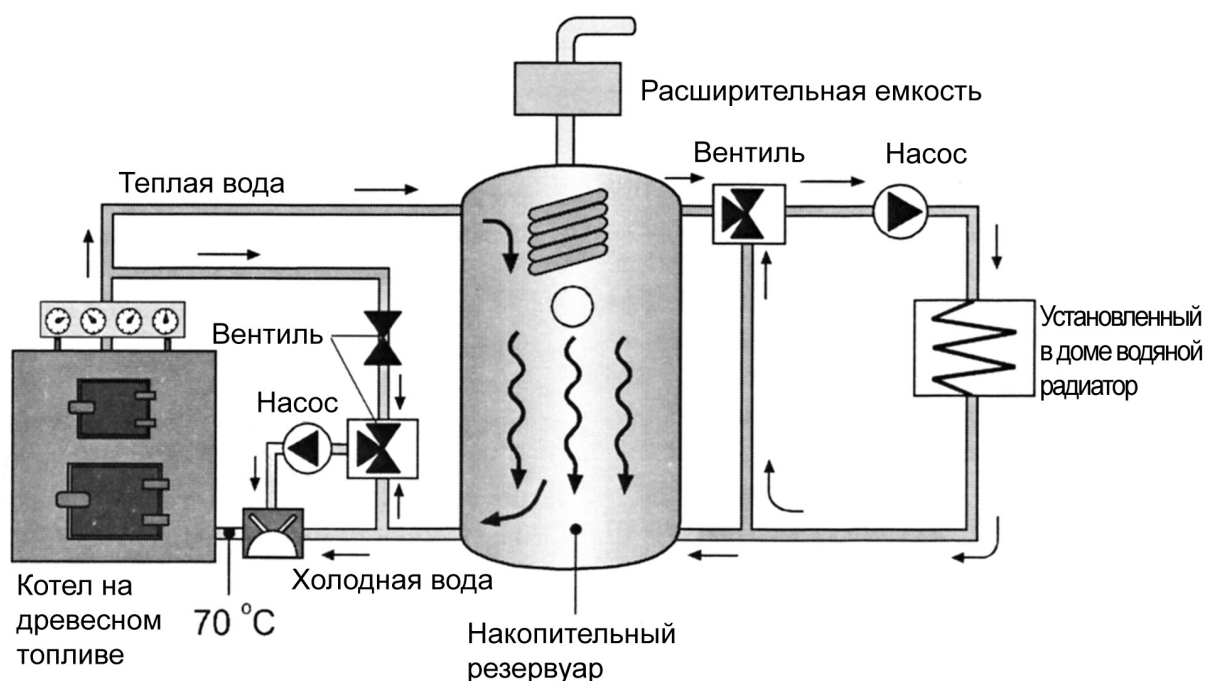


Рис. 6.3.5. Система отопления (VedTek 1996).

6.3.2 Оборудование для сжигания гранулированной древесины

Сжигание гранулированной древесины можно осуществлять в котельных установках малой мощности:

- ♦ в топках для сжигания гранулированной древесины;
- ♦ в печах для сжигания гранулированной древесины;
- ♦ в котлах, предназначенных для сжигания гранулированной древесины;
- ♦ на неподвижных колосниковых решетках топок котлов на древесном топливе.

В различных установках, предназначенных для сжигания гранулированной древесины, используются различные компоненты топливоподачи — от винтовых питателей, подающих топливо в топку котла, до автоматических горелок, которые зажигаются, иницируя, и гаснут, прекращая процесс горения в муфеле или газовой трубе. Первичный и вторичный воздух горения обычно подается вентилятором.

Оборудование для сжигания древесины предназначено для сжигания имеющего однородный состав сухого топлива с высокой теплотворной способностью и низкой зольностью при стабильных условиях процесса горения. Таким образом, оборудование, предназначенное для сжигания гранулированного топлива, часто непригодно для сжигания, например, древесной щепы. С другой стороны,

оборудование, предназначенное для сжигания древесной щепы, нельзя использовать для сжигания гранулированной древесины.

Так как древесные гранулы являются сухим топливом с высокой теплотой сгорания, в зоне горения быстро развивается высокая температура. Эта температура легко поддерживается в течение всего процесса горения. Так как в процессе горения принимает участие только небольшая часть топлива, топка может действовать в периодическом режиме включения/выключения как топка с мазутной форсункой, не увеличивая при этом количество выбросов. В процессе горения накопительный резервуар поддерживает режим с минимальным количеством включений и выключений.

6.3.2.1 Топки для сжигания гранулированной древесины

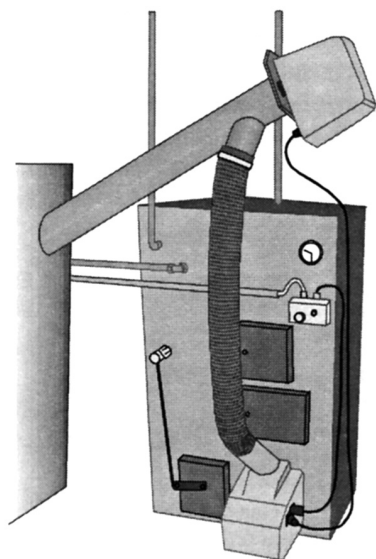


Рис.6.3.6 Топка для сжигания гранулированной древесины (по материалам публикации Meidan takj, F-lehdet, 8/2000).

Топка для сжигания гранулированной древесины представляет собой отдельное устройство для сжигания топлива, соединенное с котлом (рис. 6.3.6). В качестве топки для домов малой площади используется предтопок с запасом топлива на один или несколько дней или более компактное устройство – такое, например, как топка с мазутной форсункой. В последнем случае в топке устанавливается небольшая камера для гранулированного топлива. Камера загружается с помощью винтового питателя гранулированной древесиной из внешнего хранилища больших размеров.

С целью обеспечения безопасности эксплуатации оборудования к характеристикам топок для сжигания гранулированной древесины предъявляются повышенные требования. Одной из наиболее важных задач является исключение риска распространения пламени в сторону хранилища топлива при эксплуатации топки в течение нескольких дней.

Топливо часто подается в топку винтовым питателем. Топки классифицируются по системе подачи топлива. Подача топлива может быть нижней, боковой или верхней (рис. 6.3.7, 6.3.8, и 6.3.9). Расход топлива определяется существующей потребностью в энергии. Поддержание требуемой температуры в топке осуществляется с помощью термостата или системы контроля режима горения.

Все функции топочного оборудования, кроме золуудаления и очистки топки, полностью автоматизированы. Большинство топок оснащены системами контроля со встроенными программами режимов мощности, обеспечивающими максимальную продолжительность работы топки. На практике выбирается режим мощности, наиболее соответствующий существующей потребности в энергии. После нагрева топкой воды котла до требуемой температуры подача топлива в топку прекращается или уменьшается. Топка также оснащена устройством, регулирующим количество сжигаемых гранул в соответствии с существующей потребностью в энергии. В соответствии с заданной программой устройство самостоятельно выбирает оптимальный режим работы, минимизируя длительность простоев.

Топка для сжигания гранулированной древесины часто устанавливается на котел, предназначенный для сжигания мазута. С тем, чтобы не допустить нагрева выходящих из котла газов до чрезмерно высокой температуры и обеспечить высокий КПД, мощность топки для сжигания гранулированной древесины должна быть меньше мощности мазутной топки, так как при сжигании гранулированной

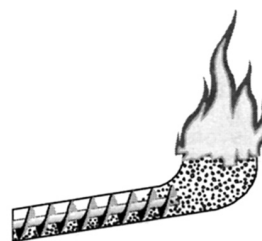


Рис. 6.3.7. Нижняя подача топлива (VedTek 1996).

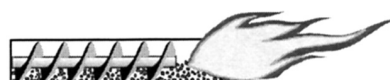


Рис. 6.3.8. Боковая подача топлива (VedTek 1996).

древесины выделяется больше топочных газов и скорость этих газов выше, чем при сжигании мазута. Рекомендуется использовать топку для сжигания гранулированной древесины, мощность которой составляет 60% мощности мазутной топки.

Требования, предъявляемые к топкам, сжигающим древесные гранулы:

- ♦ низкий расход гранул;
 - ♦ автоматизированный контроль инициирования и протекания процесса горения;
 - ♦ аттестованное электро- и пожаробезопасное оборудование;
 - ♦ документированные и подтвержденные экологические характеристики;
 - ♦ удобство технического обслуживания и удаления золы;
 - ♦ подробная инструкция по эксплуатации и обслуживанию;
 - ♦ среднее содержание CO_2 выше 12%;
 - ♦ среднее содержание CO ниже 0,1% (1000 частей на миллион);
 - ♦ КПД котла более 75% при работе на полной мощности;
 - ♦ автоматическое зажигание с блокировкой повторного зажигания после отключения электропитания. Такое повторное зажигание должно производиться вручную по соображениям безопасности.
- Другие требования обычно не документируются. Однако поставщик должен иметь демонстрационную модель установки, с которой может ознакомиться покупатель.



Рис. 6.3.9. Верхняя подача топлива (VedTek 1996).

Ниже приводится ряд вопросов, которые рекомендуется задать продавцу перед приобретением оборудования.

- ♦ Может ли топка эксплуатироваться в течение шести месяцев без технического обслуживания, кроме очистки и удаления золы?
- ♦ Можно ли удалить золу, не разбирая топку?
- ♦ Пригодна ли топка для использования в сочетании с топкой существующего котла?
- ♦ Нагревают ли совместно топка и котел (после установки топки на котел) отходящие газы до температуры от 120 до 220°C?
- ♦ Какие гарантии предоставляются в отношении качества изделия и обязательств поставщика?
- ♦ Имеются ли какие-либо ограничения в отношении качества топливных гранул?

6.3.2.2 Котлы на гранулированной древесине

Специализированные котлы, предназначенные для сжигания древесных гранул, представляют собой традиционные котлы, работающие только на гранулированной древесине, со встроенными топками, предназначенными для сжигания древесных гранул (рис. 6.3.10). Котел на гранулированной древесине предназначен исключительно для использования этого вида топлива и поэтому имеет лучший КПД по сравнению с топкой, работающей на гранулированной древесине, установленной на котел, возраст которого составляет несколько лет. В этом случае не имеет значения, на какой современный котел — работающий на мазуте или на древесине — устанавливается топка, предназначенная для сжигания древесных гранул.

Иногда побудительным мотивом при выборе между котлом на гранулированной древесине и котлом с дополнительной топкой на гранулированной древесине может стать ограниченная площадь котельной. Использование котла на гранулированной древесине может быть приемлемым решением для домов, площадь которых несколько

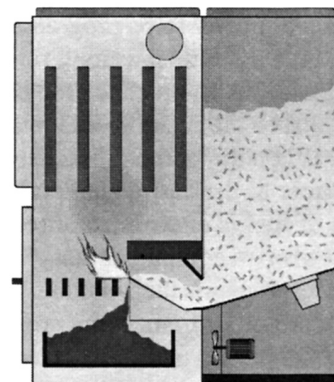


Рис. 6.3.10. Встроенная топка, предназначенная для сжигания гранулированной древесины (VedTek 1996).

превышает площадь традиционных односемейных домов. Возможности применения специализированного котла на гранулированной древесине более ограничены, чем возможности применения топки на гранулированной древесине. Так как часто такой котел непригоден для сжигания других видов топлива, следует принять определенное решение, предусматривающее полный переход на использование гранулированной древесины в качестве топлива. Существуют модели котлов, предназначенные для сжигания как гранулированной древесины, так и щепы с низким содержанием влаги.

Требования, предъявляемые к модифицированным компонентам, методам работы и характеристикам безопасности котлов на гранулированном топливе, аналогичны требованиям, предъявляемым к параметрам топок на гранулированной древесине (раздел 6.3.2.1).

6.3.2.3 Печи на гранулированной древесине

В Швеции около 500 000 домов используют электрические системы отопления. Для этих домов использование печей на гранулированной древесине является возможным решением. Для 300 000

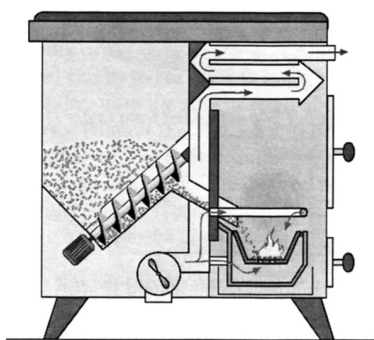


Рис. 6.3.11. Печь на гранулированной древесине (VedTek 1996).

домов малой площади, использующих электричество для нагрева воды в радиаторно-трубной системе отопления, применение печей на гранулированной древесине является приемлемым решением. В домах с достаточно открытой планировкой помещений от 50 до 70% теплоты, вырабатываемой с использованием электроэнергии, можно заменить теплотой, генерируемой печами на гранулированной древесине.

Печь на гранулированной древесине представляет собой, по существу, "водогрейный котел", использующий в качестве топлива древесные гранулы (рис. 6.3.11). Печь включает топку с воздушным охлаждением и встроенный топливный контейнер. Топка оснащена горелкой для сжигания гранулированной древесины.

Современная печь на гранулированной древесине включает:

- ♦ систему автоматической подачи топлива;
- ♦ вентилятор с устройством контроля скорости потока первичного воздуха;
- ♦ несколько режимов мощности;
- ♦ конвективную секцию;
- ♦ вентилятор подачи нагретого воздуха в помещения;
- ♦ электронное устройство управления.

США являются ведущим мировым производителем печей на гранулированной древесине. Первая печь, использующая гранулированную древесину в качестве топлива, была введена там в эксплуатацию в 1983 г. В настоящее время в США имеется около 15 производителей печей на гранулированной древесине. Только в 1994 г. в Америке было продано около 70 000 таких печей. Печи, использующие гранулированную древесину в качестве топлива, производятся также в Швеции и Австрии. В настоящее время в Швеции имеется пять производителей печей на гранулированной древесине.

Печи на гранулированной древесине могут использоваться в любых типах жилых зданий. Одним из наиболее важных требований, предъявляемых к печам на гранулированной древесине, в которых происходит контролируемый термостатом непрерывный процесс сжигания топлива, является обеспечение безопасности при эксплуатации оборудования. Топливо должно подаваться в топку снизу с тем, чтобы исключить движение сплошного потока топлива из топливного контейнера в топку.

Текущая эксплуатация

Электронная система осуществляет контроль за процессом сжигания топлива в печи. Топливный запас печи рассчитан на 24 часа работы, включая работу в зимнее время. С целью предотвращения риска пожара, который может нанести значительный ущерб, печь не следует оставлять без присмотра более чем на один день.

"Эксплуатация без ожогов"

Теплота переносится в помещения потоком воздуха, нагнетаемого по трубопроводу конвектив-

ной секции печи. По сравнению с более старыми моделями риск ожогов при эксплуатации этой печи значительно ниже.

Требования к качеству топлива

В настоящее время на шведском рынке предлагаются печи, максимальная мощность которых составляет от 8 до 12 кВт. Эти печи предназначены для применения в домах "американского" типа, имеющих большую площадь и более низкую степень теплоизоляции, чем дома в Швеции. Так как потребность в энергии шведского дома малой площади при температуре наружного воздуха 0°C составляет только 2-2,5 кВт, в этих условиях печь работает в режиме малой мощности. Поэтому к топливу, применяемому в таких печах, предъявляются особые требования, в особенности когда подача его осуществляется сверху. Гранулы, сжигаемые в этих печах, должны иметь диаметр не более 6 мм и длину не более 25 мм. Также топливо должно содержать ограниченное количество мелких фракций. Ряд производителей печей на гранулированном топливе предлагают изделия, соответствующие этим требованиям.

Экологичность и эффективность

Независимые исследовательские учреждения проводят работу по определению степени воздействия на окружающую среду и оценке КПД печей на гранулированной древесине. Шведским национальным институтом испытаний и исследований проводились исследования по определению содержания смол в выбросах печей на гранулированной древесине. Получены значения от 3 до 6 мг/МДж теплоты. Рекомендуемое максимальное значение составляет 30 мг/МДж.

По оценке производителей средний КПД при работе в течение длительного периода составляет 80%. Это значение КПД определяется с учетом максимальной мощности работы печи. Покупатель должен обязательно выяснить, какой метод применялся для определения КПД печи.

С целью улучшения параметров КПД и уровня выбросов печи на нее можно установить лямбда-зонд, который измеряет содержание кислорода в отходящих газах.

Следует учесть

Место установки печи играет важную роль в обеспечении выработки требуемого количества теплоты. С целью улучшения распределения нагретого воздуха в межкомнатные стены могут встраиваться вентиляторы. В печах на гранулированной древесине зона горения имеет низкое разряжение, что может вызывать задымление в домах, использующих систему вентиляции с механическим побуждением (вентиляторами). Поэтому воздух для горения рекомендуется отбирать из участка, не сообщающегося с домом, или устанавливать рядом с топкой вентилятор подачи воздуха. В противном случае возможно охлаждение дома или прерывание действия топки.

Печь следует устанавливать только после консультации с компанией, выполняющей трубочистные работы.

На рис. 6.3.12 представлен пример установки печи без дымовой трубы в доме малой площади.

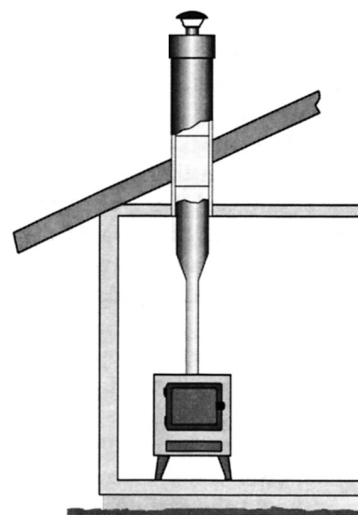


Рис. 6.3.12. Установка печи без дымовой трубы (VedTek 1996).

6.3.2.4 Сжигание древесных гранул на неподвижной колосниковой решетке

Одна из шведских компаний разработала оборудование, позволяющее сжигать гранулированную древесину в котлах, использующих древесину в качестве топлива. Этот метод можно легко использовать в топках с недожогом топлива или в реверсивных топках. Эта система является недорогим альтернативным решением для владельца дома, имеющего хороший котел на древесном топливе и желающего иметь менее трудозатратную систему отопления. Хотя подача гранул в такой котел также осуществляется вручную, его очевидными преимуществами являются более высокий КПД и меньший расход топлива — требуется только половина содержащейся в гранулах энергии. Гранулированную древесину нельзя сжигать в котле, работающем на древесине, если он не был переоборудован для сжигания гранулированного топлива, так как гранулы имеют высокое содержание энергии и могут нагревать отходящие газы до очень высоких температур.

7. ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭНЕРГИИ, МЕТОДЫ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

7.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Преобразование химической энергии биотоплива в электроэнергию может осуществляться на различных энергетических установках. В настоящей главе описываются основные принципы производства энергии и виды энергетических установок, которые могут использовать древесину в качестве топлива. Процесс производства энергии включает следующие основные этапы: сжигание топлива – выработка пара под высоким давлением – работа пара при расширении в турбине – преобразование кинетической энергии турбины в электрическую энергию с помощью электрогенератора. Этот процесс с использованием пара является наиболее распространенным методом производства электроэнергии при сжигании твердого топлива.

7.1.1 Паровая турбина и паровой двигатель

Турбина – это двигатель, действие которого основано на работе пара при расширении, в котором постоянный поток жидкости проворачивает вал, вращающий электрический генератор (рис. 7.1.1, 7.1.2, 7.1.3). Основными компонентами паровой турбины являются статор с неподвижными лопатками, вращающийся ротор с лопатками, подшипники, система смазки, регулирующие клапаны и соединения с отверстиями для впуска и выпуска пара.

Подвижной частью турбины является ротор с закрепленными на нем лопатками. Между рядами лопаток расположены неподвижные лопасти, перенаправляющие поток пара, поступающий из лопаток предыдущего ряда. Лопасти являются частью тела статора. Как правило, статор разделен в центральной части горизонтальной линией на верхнюю и нижнюю части, которые скреплены между собою болтами. Такая конструкция облегчает техническое обслуживание и монтажные работы.

Многим предприятиям необходим пар различного давления для систем теплоснабжения. Наиболее экономным методом производства пара является его выработка под высоким давлением, использование в турбине, где пар частично расширяется, отбор пара требуемого давления на выходе из турбины и поставка отработанного пара для использования в технологических процессах. Турбины можно классифицировать по выходному давлению и количеству точек отбора. Давление пара на выходе конденсационной турбины значительно ниже атмосферного давления. В противодавленческой турбине пар, отбираемый после расширения, имеет более высокое давление; этот пар низкого давления используется в системах теплоснабжения. Эти основные виды турбин могут иметь одну или несколько точек отбора. Большинство современных энергетических установок, основанных на использовании пара, включают одноступенчатый или двухступенчатый циклы перегрева пара. Перегрев означает, что после секции высокого давления пар перегревается в паровом котле. Затем перегретый пар расширяется в секции низкого давления. Перегрев повышает КПД системы и позволяет получить более сухой пар, что является очевидным преимуществом этого метода.

Значения давления пара высокого давления составляет от 40 до 300 бар и температуры – от 450 до 600°C. Более высокие давления и температура позволяют увеличить общий КПД энергетической установки, использующей конденсационную турбину, и повысить отношение электроэнергия/теплота установки комбинированного производства тепловой и электрической энергии. Однако следует учитывать, что использование пара высокого давления требует применения более дорогостоящих материалов. Поэтому чем выше давление пара, тем больше размеры должна иметь установка для того, чтобы быть рентабельной. ("Технология электростанций", Эль-Вакиль). (Powerplant Technology, El-Wakil), ("Энциклопедия энергии МакГро-Хилл") (Encyclopedia of Energy, McGraw-Hill)).

В энергетических установках меньшей мощности (~1-2 МВт) применение парового двигателя является более экономичным, так как требует меньших капиталовложений. Применение парового двигателя также является приемлемым решением для установки комбинированного производства тепловой и электрической энергии малой мощности. В таких установках отношение теплота/электроэнергия составляет 1/10.



Рис. 7.1.1. Паровая турбина (источник: "Энциклопедия энергии МакГро-Хилл").

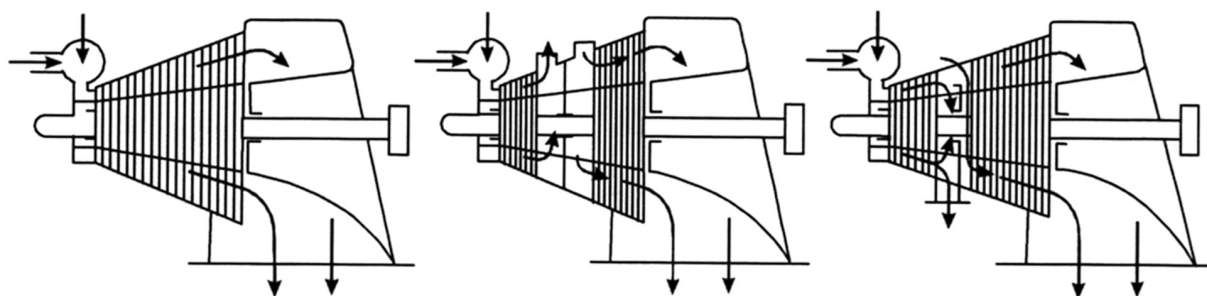


Рис. 7.1.2. Некоторые основные конструкции турбин (источник: "Технология электростанций", М. Эль-Вакиль).

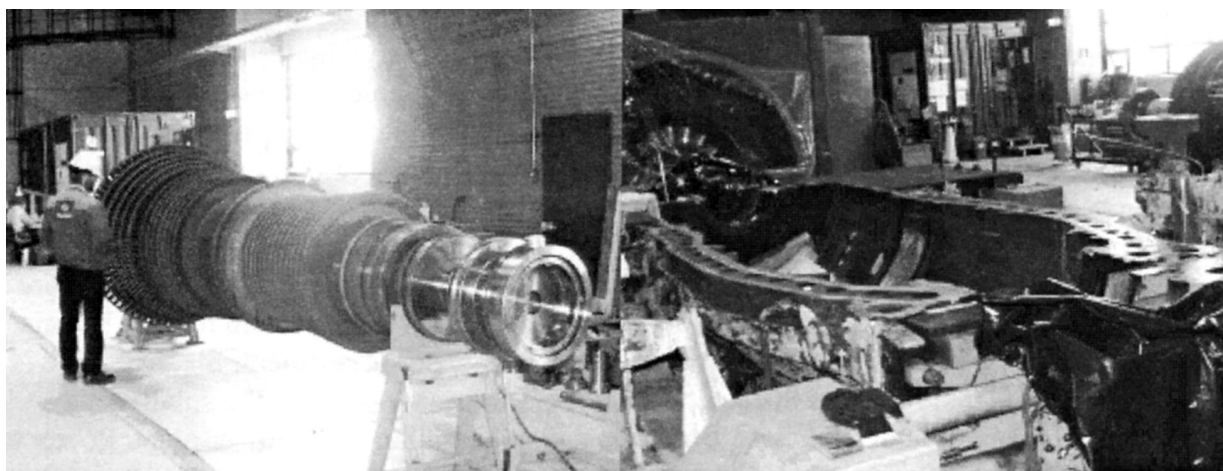


Рис. 7.1.3. Ротор турбины и нижняя часть статора турбины (267 МВт) электростанции в Раухалахти при проведении технического обслуживания. Источник: Иваскилан энергиятуотанто Ой (Jyvaskylan Energiatuotanto Oy).

7.1.2. Генератор

Генератор представляет собой электротехническое устройство, предназначенное для преобразования механической энергии в электрическую (рис. 7.1.4). Принцип действия генератора основан на явлении электромагнитной индукции. В генераторе проводник перемещается в электромагнитном поле и индуцированное напряжение создает ток, подаваемый на внешнюю цепь.

В простейшем генераторе проводник представляет собой открытую катушку провода, вращающуюся между полюсами постоянного магнита. При каждом цикле вращения одна из сторон катушки проходит в одном, а затем в противоположном направлении через магнитное поле. Индуцированный таким образом ток называют переменным током (АС). Каждый из концов катушки соединен с металлическим контактными кольцом, которое вращается вместе с катушкой. Токосъемные щетки, соединенные с контактными кольцами, направляют ток на внешнюю цепь.

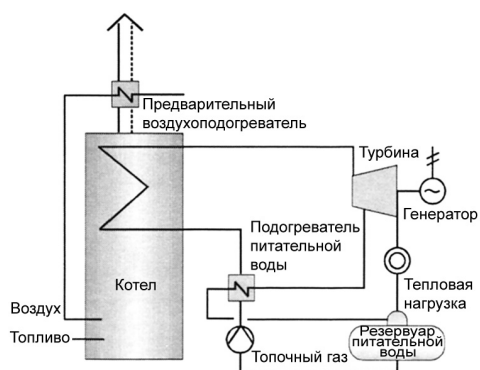


Рис. 7.1.4. Основные компоненты энергетической установки (Центральное энергетическое агентство Финляндии).

Для получения постоянного тока (DC), т.е. тока, протекающего только в одном направлении, вместо контактных колец используется преобразователь тока. Преобразователь тока представляет собой контактное кольцо, разделенное на левую и правую половины, изолированные друг от друга и соединенные с противоположными концами катушки. Ток протекает из генератора через преобразователь только в одном направлении, пульсируя между минимальной и максимальной величиной.

На практике генератор содержит несколько катушек и магнитов. Компонент генератора с катушками называется якорем или ротором; неподвижная часть генератора называется статором. За исключением магнето, в которых используются постоянные магниты, в генераторах (переменного и постоянного тока) используются электромагниты. Генераторы переменного тока иногда называют альтернаторами (www.ask.com).

7.1.3 Резервуар питательной воды

Резервуар питательной воды представляет собой резервуар, в который собирается конденсат из теплообменников и конденсатора. На нем расположен сепаратор пара, который обеспечивает подачу воды на насос питательной воды (см. рис. 7.1.4).

7.1.4 Насос питательной воды

Насос питательной воды создает давление воды, равное давлению свежего пара (30-300 бар), и подает ее в котел. Как правило, используются два насоса для обеспечения постоянного притока воды в бойлер (см. рис. 7.1.4).

7.1.5 Экономайзер

Экономайзером называют подогреватель питательной воды. Предварительный нагрев воды повышает КПД и предотвращает воздействие тепловых напряжений на котел. Подогрев осуществляется паром низкого и высокого давления, подаваемого из точек отбора пара турбины. Энергетические установки большой мощности могут включать до семи экономайзеров (см. рис. 7.1.4).

7.1.6 Предварительный воздухоподогреватель

Предварительный подогрев воздуха повышает КПД котла, снижая количество несгоревшего топлива. Предварительный воздухоподогреватель устанавливается после пароперегревателей в колпаке топочных газов (см. рис. 7.1.4).

7.2 КОГЕНЕРАЦИЯ (КОМБИНИРОВАННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ)

Когенерация, или комбинированное производство тепловой и электрической энергии, означает одновременное производство тепла и электроэнергии одной энергетической установкой. Производимое тепло используется в централизованных системах электроснабжения и/или в технологических процессах. Предприятия, потребляющие большое количество тепла, включают фабрики по производству бумаги, деревообрабатывающие заводы и химические производства. В течение нескольких десятилетий комбинированное производство тепловой и электрической энергии являлось важной частью системы энергоснабжения Финляндии. В 1998 г. общее число установок комбинированного производства тепловой и электрической энергии составляло 162, включая 79 энергетических установок систем централизованного теплоснабжения. Их общая электрическая мощность составляла 5097 МВт, а тепловая – 14778 МВт. Общая электрическая мощность энергетических установок систем централизованного теплоснабжения составляла 3136 МВт и тепловых 5832 МВт (источник: "Статистика Финляндии" (Statistic Finland)).

С точки зрения эффективности использования природных ресурсов совместное производство тепловой и электрической энергии имеет преимущество только в том случае, если оно обеспечивает более экономичное получение первичной энергии. КПД котельной установки, вырабатывающей только тепло, может достигать 90%. КПД современной конденсационной электростанции, как правило, составляет менее 50%. Очевидно, что установка комбинированного производства тепловой и электрической энергии с КПД 85% более экономична по сравнению с установками, осуществляющими раздельное производство тепла и электроэнергии (рис. 7.2.1). Подбор тепловых нагрузок, соответствующих параметрам комбинированного производства тепловой и электрической энергии, обеспечивает эффективное использование топлива.

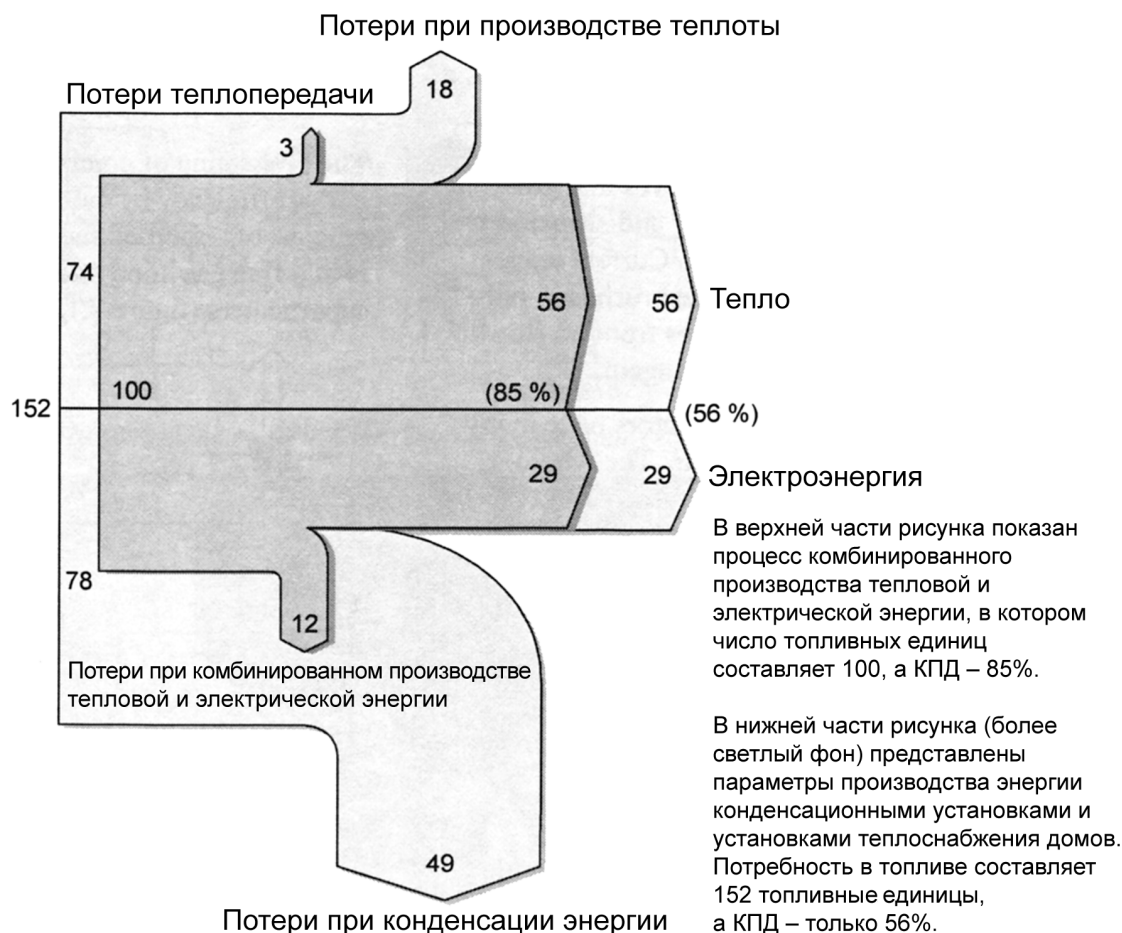


Рис. 7.2.1. Процесс когенерации.

Существуют различные методы комбинированного производства тепловой и электрической энергии (рис. 7.2.2 и 7.2.3). Как правило, при планировании строительства установки определяющим фактором при определении ее параметров является использование тепла. Пар, используемый в технологических целях, должен иметь более высокое давление, чем пар, пропускаемый через теплообменник системы централизованного теплоснабжения. Типичные значения давления технологического пара, применяемого, например, на бумажной фабрике, составляют от 3 до 10 бар. Давление пара, используемого в теплообменнике системы централизованного теплоснабжения, ближе к атмосферному давлению и зависит от температуры воды. Величина противодействия, создаваемого противодействующей турбиной, осуществляющей подачу тепла в систему централизованного теплоснабжения, составляет 0,2-0,6 бар. Более высокая температура выходящей отопительной воды требует создания более высокого противодействия за счет производства электроэнергии. Температура выходящей отопительной воды зависит не только от температуры наружного воздуха, но также и от качества оборудования системы централизованного теплоснабжения и оборудования потребителя. В североевропейских странах используется горячая вода с температурой на выходе из котла 75-120°C; температура возвратной воды составляет 35-55°C.

При выборе турбины наиболее важным критерием является предполагаемое использование тепла. Наиболее распространенным типом является противодействующая турбина. В этой турбине пар расширяется до требуемого давления, необходимого для целей теплоснабжения. Использование противодействующей турбины позволяет вырабатывать пар двух давлений или большего числа давлений. Турбины такой конструкции используются на многих промышленных предприятиях. Отбор пара производится также для предварительного нагрева питательной воды котла с целью повышения общего КПД установки. Соотношение вырабатываемых электроэнергии и тепла составляет 0,2/0,3 в установках комбинированного производства тепловой и электрической энергии и 0,45/0,55 в установках централизованных систем теплоснабжения. Эти значения являются типичными для процессов выработки пара со сжиганием твердого топлива (раздел 7.4 "Другие источники"). Различие в значениях объясняется более низкой температурой пара, используемого в технологических процессах, по сравнению с температурой пара систем централизованного теплоснабжения. При более низкой температуре увеличивается время работы пара при расширении в турбине, что позволяет повысить производство электроэнергии.

Энергетическая установка, оснащенная конденсационной турбиной с отбором пара для системы централизованного теплоснабжения, называется конденсационной электростанцией с отбором пара. Этот тип установки не является установкой комбинированного производства тепловой и электрической энергии в чистом виде. Только та часть электроэнергии, которая вырабатывается за счет работы расширения пара, можно классифицировать как электроэнергию когенерации. Остальная электроэнергия вырабатывается по конденсационному циклу и не относится к комбинированному производству тепловой и электрической энергии.

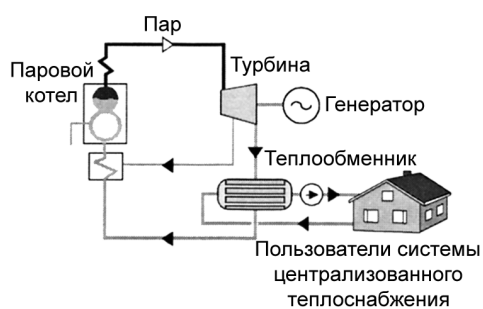


Рис. 7.2.2. Принцип работы установки комбинированного производства тепловой и электрической энергии. Источник: Энергифакта (Energifakta) 1993.

Выработка электроэнергии установкой комбинированного производства тепловой и электрической энергии в значительной степени зависит от величины тепловых нагрузок. Одним из методов более эффективного независимого производства электроэнергии является производство электроэнергии с использованием конденсационной турбины с регулируемым отбором пара. В летний период энергетическая установка системы централизованного теплоснабжения имеет низкую тепловую нагрузку. С целью эффективного производства электроэнергии независимо от тепловой нагрузки на некоторых энергетических установках используются вспомогательные конденсаторы или дополнительные конденсационные секции турбин. Вспомогательный конденсатор конденсирует пар противодействия и теплоту, которая могла бы подаваться в систему централизованного теплоснабжения, выбрасывая ее в окружающую среду (например, в море или озеро). Очевидно, что это снижает общий КПД установки. Установка конденсационной секции за секцией противодействия турбины хотя и является более дорого-

стоящим решением, позволяет производить электроэнергию по конденсационному циклу, повысив паропроизводительность установки.

Более подробная информация о системе централизованного теплоснабжения содержится в разделе 8.1.

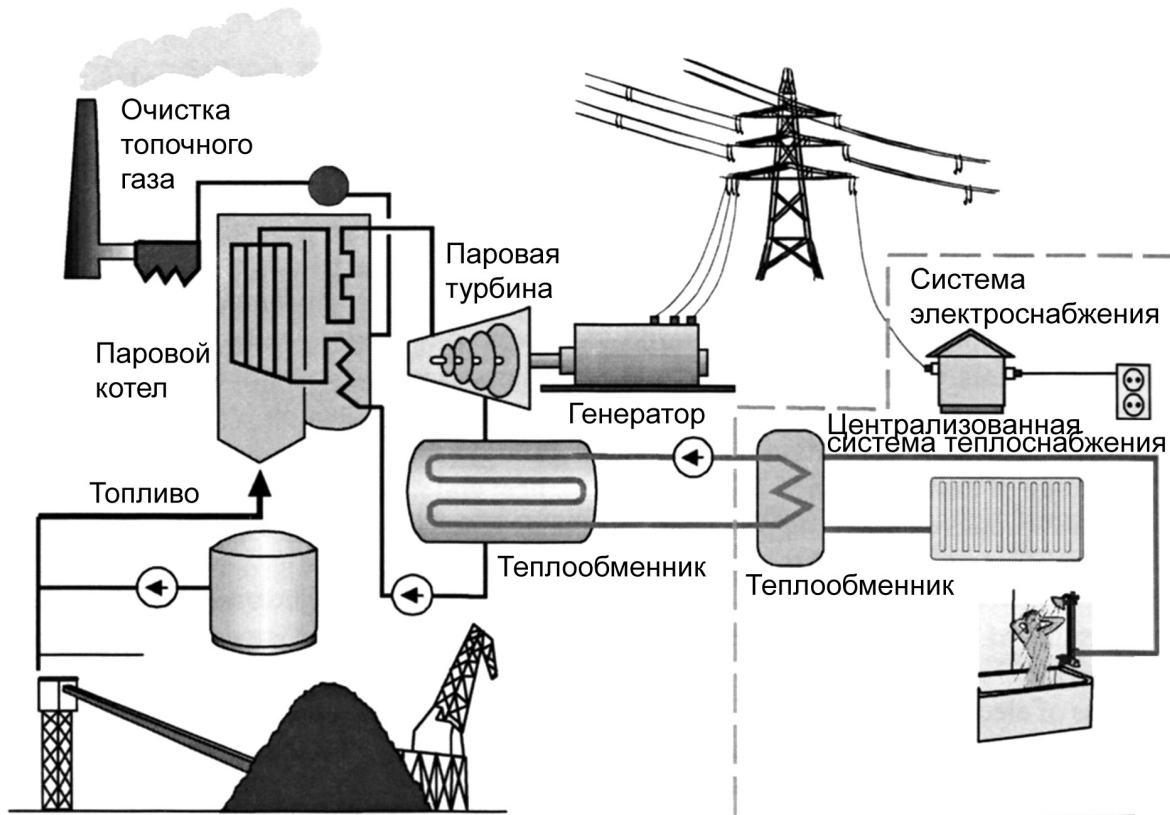


Рис. 7.2.3. Система комбинированного производства тепловой и электрической энергии.

7.3 ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ, ВЫРАБАТЫВАЕМАЯ ПО КОНДЕНСАЦИОННОМУ ЦИКЛУ

Конденсационная электростанция — это электростанция, вырабатывающая только электроэнергию. Ее отличие от установки комбинированного производства тепловой и электрической энергии заключается в способе использования пара. Пар, подаваемый в турбину под высоким давлением, расширяется в турбине до давления 0,02-0,05 бар и затем конденсируется в воду. Конденсатор использует большое количество охлаждающей воды. Поэтому конденсационные электростанции часто размещают на побережье водных объектов. При строительстве конденсационных электростанций в районах, удаленных от водных объектов, требуется устройство градирни (рис. 7.3.1).

При эксплуатации конденсационной электростанции необходимо обеспечить максимальное производство электроэнергии при минимальном расходе топлива. В отличие от комбинированного производства тепловой и электрической энергии производство конденсационной электроэнергии не зависит от тепловых нагрузок, что является преимуществом конденсационных электростанций. Общий КПД современной конденсационной электростанции большой мощности может достигать 55%. Средний КПД производства конденсационной энергии составляет 40-50%. Очевидно, что только использование недорогого топлива может обеспечить рентабельную эксплуатацию такой электростанции.

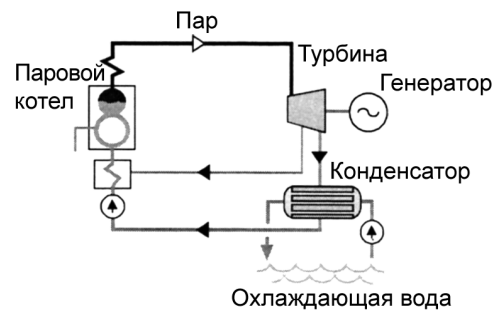


Рис. 7.3.1. Принцип работы конденсационной электростанции. Источник: Энергифакта (Energifakta) 1993.

Конденсационные электростанции занимают соответствующее место и выполняют определенную функцию в системе электроснабжения. Например, атомные электростанции являются энергетическими установками, работающими в режиме базовой нагрузки, т.е. постоянно работают на полной мощности. Производство электроэнергии когенерации, которое определяется тепловой нагрузкой, также является своего рода производством электроэнергии в режиме базовой нагрузки. В настоящее время продолжает оставаться разрыв между объемом производства и уровнем потребности в электроэнергии. Производство конденсационной энергии и гидроэнергии способствует решению этой проблемы. Режимы эксплуатации конденсационных электростанций определяются величиной переменных издержек, которые в основном составляет стоимость топлива, что ограничивает возможности применения древесного топлива на конденсационных электростанциях. Большинство конденсационных электростанций в качестве топлива используют уголь, торф и природный газ. Электростанции, работающие на торфе, могут использовать древесину в качестве вторичного топлива при условии приемлемых цен на древесное топливо. Например, для этих целей могут использоваться древесные отходы лесопильной и деревообрабатывающей промышленности.

7.4 ДРУГИЕ ИСТОЧНИКИ

7.4.1 Газификация

Газификация состоит в преобразовании химической энергии твердого топлива в газообразную форму. Газообразное топливо легче сжигается и может использоваться в газовых топках и даже приводить в действие газовые турбины. Процесс газификации протекает при высокой температуре в присутствии кислородсодержащих веществ — таких, как воздух и пар, — или чистого кислорода. Количество кислорода не должно выходить за пределы стехиометрической концентрации ($\lambda < 1$).

Газы, полученные в результате газификации, содержат горючие CO_2 , H_2 , CH_4 и другие углеводороды, а также воду (H_2O), двуокись углерода (CO_2) и частицы угля и золы. Так как реакции, протекающие с выделением окиси углерода или водорода, характеризуются высокой эндотермичностью, теплоту вырабатывают посредством частичного или внешнего сжигания угля с использованием теплообменника. Наиболее распространенным методом является частичное сжигание угля, при этом источником кислорода, необходимого для горения, является воздух. В этом случае расход кислорода составляет от 20 до 50% стехиометрического потребления воздуха в процессе горения. Температура газификации биотоплива составляет от 800 до 1000°C; уголь имеет более высокую температуру газификации. Процесс газификации с использованием воздуха может применяться на энергетических установках с электрической мощностью менее 200 МВт. В этом случае по сравнению с теплотворностью газа, получаемого при газификации с использованием чистого кислорода (7-15 МДж/м³), азот, содержащийся в воздухе, уменьшает теплотворную способность газа до 3-7 МДж/м³. Газификация с использованием воздуха является приемлемым методом только для энергетических установок большой мощности, работающих на угле.

Процесс газификации может протекать при атмосферном или повышенном давлении. Строительство установки для газификации под давлением является более дорогостоящим решением, но размеры оборудования в этом случае меньше. Опять же это решение более приемлемо для установок большой мощности, особенно когда газ высокого давления используется в процессе производства энергии.

Одним из методов снижения воздействия газификации на окружающую среду является очистка газа перед сжиганием. Очистка газа от загрязняющих веществ позволяет почти полностью предотвратить вредные выбросы, при этом бывают методы холодной и горячей очистки. При холодной очистке газы охлаждаются до температуры менее 150°C и затем пропускаются через скруббер. Удаление серы осуществляется на последующих этапах с применением других методов. Процесс холодной очистки используется только на установках большой мощности, так как такая очистка требует значительных затрат.

Метод горячей очистки используется на установках с газовыми турбинами, поскольку холодная очистка снижает тепловые параметры газовой турбины. Так как лопасти турбины подвергаются значительному износу под воздействием различных частиц и щелочных металлов, для их защиты применяются керамические фильтры, удаляющие частицы и сорбенты, а также щелочные металлы. В настоящее время методы горячей очистки не внедрены в коммерческую эксплуатацию, так как все еще находятся на этапе разработки.

7.4.2 Газификация и производство энергии

Газификация позволяет применять непрямые методы использования твердого топлива в дизельных двигателях и газовых топках. Способы применения с использованием газовых турбин описаны в следующей главе.

Газификация древесного топлива в сочетании с использованием дизельного двигателя может являться приемлемым решением для производства электроэнергии в малых объемах (5-50 МВт электрической мощности). По сравнению со сжиганием в псевдоожиженном слое КПД этого процесса выше, однако он также требует больших затрат. Основные трудности связаны с очисткой от смолусодержащих соединений. Повысив эффективность сушки и степень очистки газа, представляется возможным довести рентабельность этого процесса до уровня, представляющего интерес с точки зрения практического применения.

Использование газа в качестве дополнительного топлива на действующих энергетических установках часто является наиболее экономически эффективным решением. Методы газификации позволяют найти применение местным видам топлива — таким, например, как топливная древесина и промышленные древесные отходы, которые в противном случае остались бы невостребованными.

Например, прямая подача соломы и отходов в топку котла может привести к коррозии и ошлакованию, которые можно предотвратить при газификации топлива, позволяющей осуществлять контроль уровня вредных выбросов до сжигания топлива.

В Финляндии примером применения технологии газификации топлива является электростанция в Кимиярви, где газ используется в качестве дополнительного топлива, сжигаемого в котле, работающем на пылевидном угле. Для газификации используются щепа, кора и опилки (рис. 7.4.1).

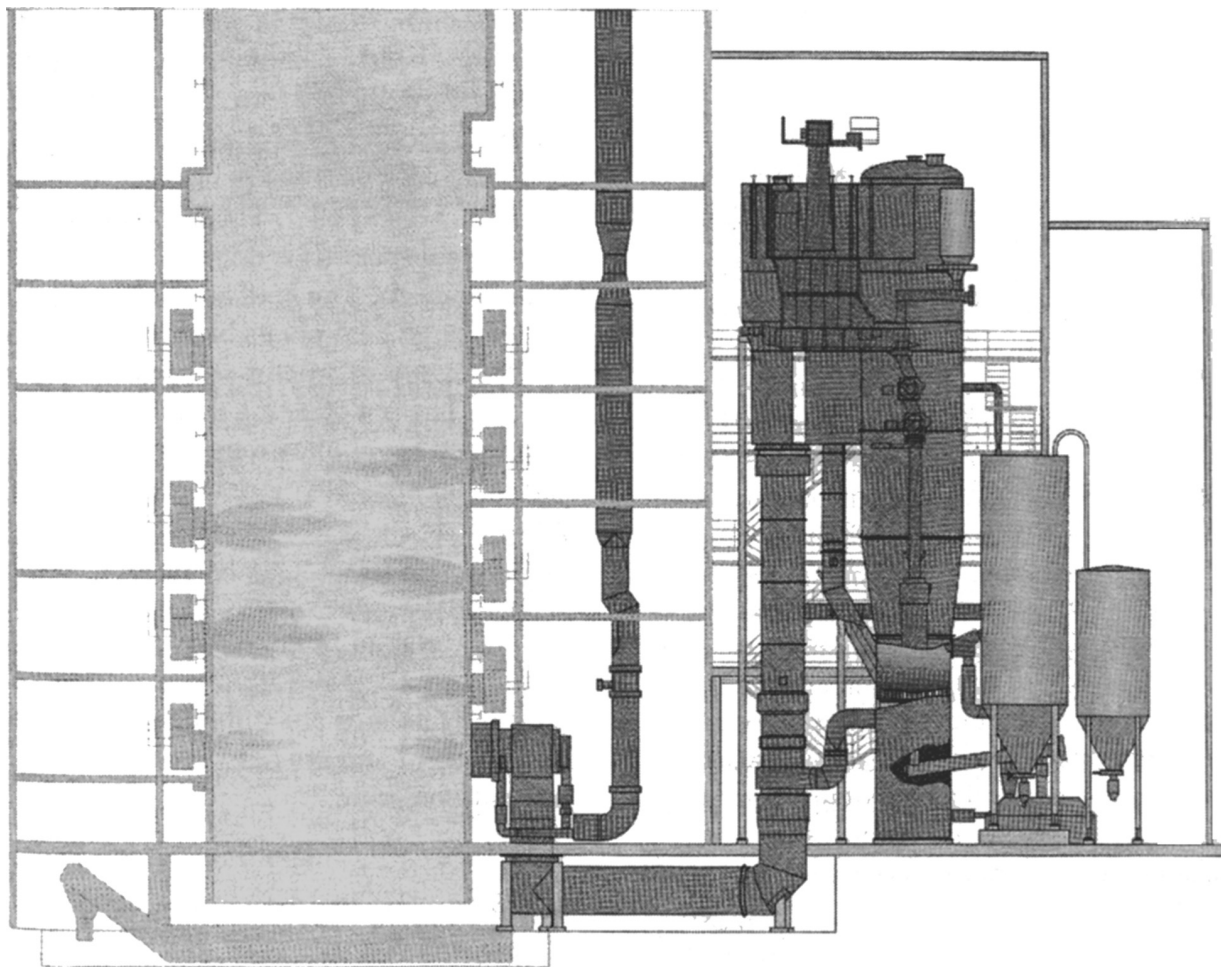


Рис. 7.4.1. Газификация твердого топлива и сжигание газа на электростанции в Кимиярви (167 МВт электрической мощности). Источник: "Энергия Суомесса, VTT (Energia Suomesa VTT).

7.4.3. Комбинированный цикл интегрированной газификации

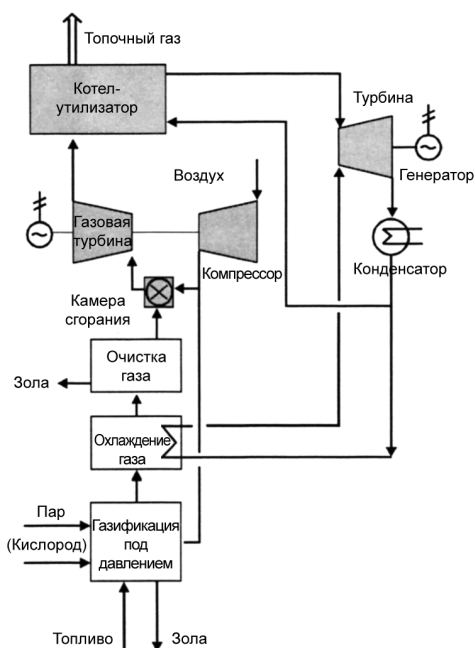


Рис. 7.4.2. Комбинированный цикл интегрированной газификации (КЦИГ) (IGGC).

значительно повысить производство электроэнергии, основанное на применении биотоплива ("Энергия Суомесса", VTT (Energia Suomessa VTT)).

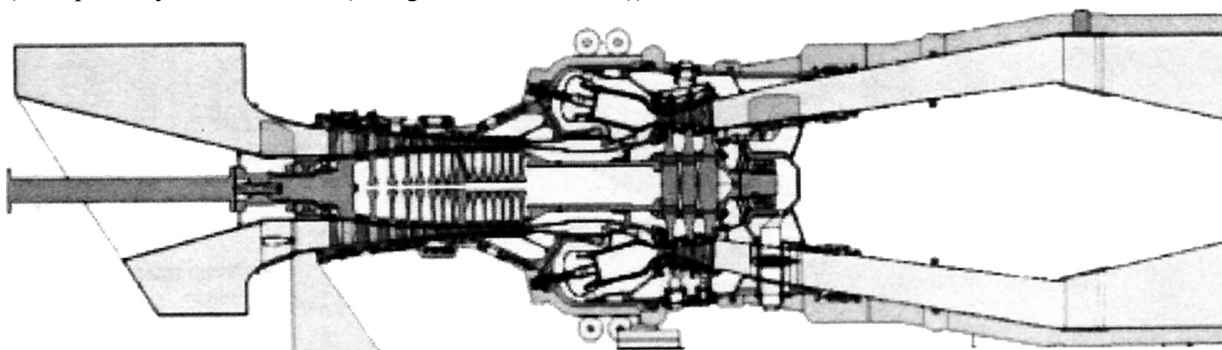


Рис. 7.4.3. Конструкция газовой турбины. Источник: "Энергия Суомесса", VTT (Energia Suomessa VTT).

Термин "газовая турбина" обычно применяется по отношению к устройству, основными компонентами которого являются компрессор, камера сгорания и газовая турбина (рис. 7.4.3). Турбина приводит в действие компрессор, который под высоким давлением подает воздух в камеру сгорания, где воздух смешивается с топливом, образуя газы высокого давления, которые затем расширяются в газовой турбине (www.ask.com).

Наиболее высоким КПД обладает энергетическая установка, включающая как газовую, так и паровую турбину. Такую энергетическую установку называют установкой комбинированного цикла. Установка комбинированного производства тепловой и электрической энергии с комбинированным циклом имеет лучшее соотношение вырабатываемых теплоты и электроэнергии, которое может превышать 1/1. Традиционная установка комбинированного цикла работает на природном газе.

Установку комбинированного цикла с реактором газификации называют установкой комбинированного цикла интегрированной газификации (КЦИГ) (IGGC) (рис. 7.4.2). КЦИГ позволяет использовать древесное топливо в качестве топлива в такой установке, содержащей газовую турбину. До настоящего времени в установках КЦИГ использовались процессы газификации угля и методы холодной очистки. Компании Сидкрафт Аб (Sydcraft Ab) и Фостер Вилер Энергия Ой (Foster Wheeler Energia Oy) продемонстрировали установку КЦИГ (6 МВтэ) с газификацией биомассы и очисткой горячих газов в Варнамо (Швеция). После решения технических проблем, связанных с очисткой горячих газов, эти установки позволяют

7.5 ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Рассматривая вопросы, связанные с производством электроэнергии, необходимо определить отличие мощности от энергии. Мощность является мерой способности производственного объекта выполнять какую-либо работу, а единицей мощности является ватт. Энергия определяется как мощность, умноженная на единицу времени. Единицей электрической энергии является ватт·час (Вт·ч).

1 кВт·ч

Количество электроэнергии, потребляемое электрической лампочкой в течение суток.

1 МВт·ч

Количество электроэнергии, потребляемое кухонной электроплитой за 1000 часов.

1 ГВт·ч

Количество электроэнергии, потребляемое в Швеции 400 стандартными домами малой площади в течение года.

1 ТВт·ч

Среднее количество электроэнергии, потребляемое североевропейскими странами в течение 24 часов.

8. МЕТОДЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

8.1 ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ

При написании раздела 8.1 использовались материалы учебного пособия "Fjärrvarme" (Фредериксен, Свен Веренер, 1993).

8.1.1 Общие положения

Система централизованного теплоснабжения (рис. 8.1.1) представляет собой техническую систему, осуществляющую теплоснабжение отдельных районов города или целого города по сетям централизованного теплоснабжения. В качестве теплоносителя часто используется вода. Одна или несколько котельных установок осуществляют подачу в систему распределения нагретой воды, которая используется для отопления зданий и в качестве горячей водопроводной воды. Эта система наиболее распространена в странах, потребляющих большое количество тепла в холодный зимний период. Системы централизованного теплоснабжения используются в основном в странах Северной Европы, а также в Восточной Европе и России. Они также используются в Северной Америке, Западной Европе, Китае, Корее и Японии.

При описании систем централизованного теплоснабжения их часто подразделяют на следующие компоненты:

- ♦ Производственные объекты.
- ♦ Распределительные трубопроводы.
- ♦ Оборудование потребителя.

На производственных объектах поставленное топливное сырье с использованием высоких давления и температуры преобразуется в тепло в форме горячей воды и пара. В Швеции наиболее распространенным видом топлива, используемым в установках систем централизованного теплоснабжения, является вторичное древесное сырье. Система централизованного теплоснабжения может включать различные производственные объекты, которые должны обеспечивать сокращение издержек и снижение вредного воздействия на окружающую среду.

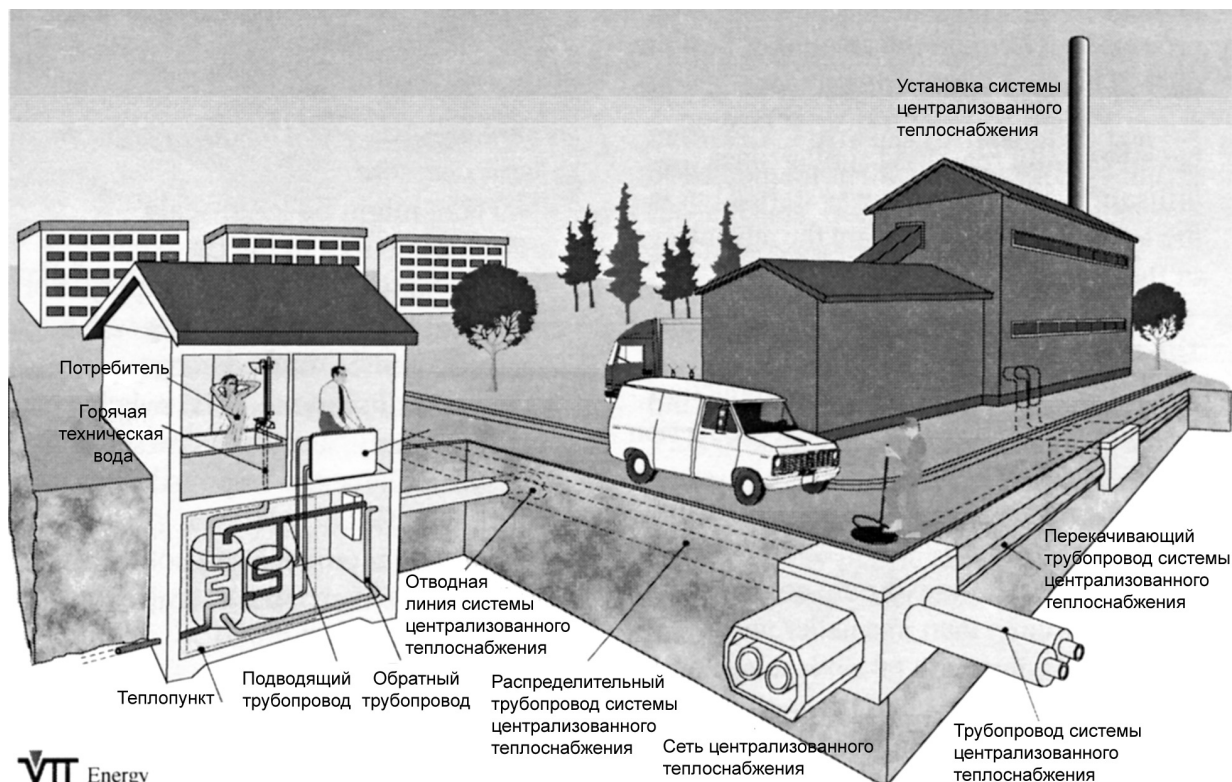


Рис. 8.1.1. Система централизованного теплоснабжения (Источник: Финская ассоциация систем централизованного теплоснабжения / <http://www.energia.fi>).

Тепло, вырабатываемое производственными объектами, подается в дома через систему распределительных трубопроводов. Вода, проходящая через возвратный трубопровод, нагревается. Затем вода рециркулируется по распределительному трубопроводу. Температура воды в распределительном трубопроводе составляет 40-65°C, а в возвратном трубопроводе — 70-120°C. Электронасосы поддерживают постоянную циркуляцию воды в системе централизованного теплоснабжения.

Оборудование пользователя представляет собой техническую систему, включающую теплообменники, трубопроводы, регулирующие клапаны и т.д., предназначенную для передачи тепла от сети централизованного теплоснабжения к потребителю. Теплоноситель сети централизованного теплоснабжения охлаждается в оборудовании потребителя, нагревая потоки воды в его системе теплоснабжения. По условиям разделения ответственности теплообменник отделяет систему централизованного теплоснабжения от системы теплоснабжения потребителя.

Количество тепла, распределяемого централизованной системой теплоснабжения, зависит от количества тепла, необходимого для бытового отопления, горячего водоснабжения, сушек прачечных, производственных процессов, грунтового тепла.

Причины использования систем централизованного теплоснабжения остаются неизменными с тех пор, как первая система централизованного теплоснабжения начала действовать в США в 1870 г. Преимущества системы:

Прямые экономические причины:

- ◆ комбинированное производство тепловой и электрической энергии;
- ◆ более низкие удельные затраты на производство тепла для зданий большой площади;
- ◆ возможно использование недорогого топлива низкого качества;
- ◆ более высокий КПД при сжигании топлива в установках большой мощности, чем в установках малой мощности;
- ◆ возможность использования излишков тепла местных предприятий, т.е. отбросного тепла производственных процессов предприятий и мусоросжигательных установок.

Косвенные экономические причины:

- ◆ улучшение состояния окружающей среды в месте эксплуатации системы в результате более эффективного сжигания топлива и использования более высоких дымовых труб;
- ◆ улучшение общего состояния окружающей среды в связи с тем, что меры по охране окружающей среды проще и легче принимать на крупных коммунальных энергетических объектах;
- ◆ меньший риск пожара в городах в связи с меньшим числом мест сжигания топлива;
- ◆ более высокая гибкость систем теплоснабжения;
- ◆ для оборудования систем теплоснабжения требуется меньше места в зданиях.

Еще одной причиной использования систем централизованного теплоснабжения является поддержка использования внутренних энергетических ресурсов. После принятия в Швеции в 1998 г. программы о замещении нефти другими видами топлива началось строительство местных систем централизованного теплоснабжения малой мощности, использующих в качестве топлива местные ресурсы — такие, как древесина и торф.

Системы централизованного теплоснабжения имеют также ряд недостатков:

- ◆ широкомасштабные последствия в случае нарушения работы системы централизованного теплоснабжения; например, акт саботажа в военное время может причинить значительный ущерб;
- ◆ население утрачивает общие знания о процессе теплоснабжения, так как эксплуатацию системы осуществляют только несколько специалистов;
- ◆ индивидуальные пользователи не могут эффективно регулировать условия потребления тепла.

8.1.2 Распределительный трубопровод

Конструкция централизованных систем теплоснабжения обычного типа основана на использовании проложенных под землей или над землей труб, через которые подаются вода или пар (рис. 8.1.2). Применение воды в качестве теплоносителя имеет ряд преимуществ: вода является относительно недорогим материалом и не характеризуется значительной коррозионной активностью и токсичностью.

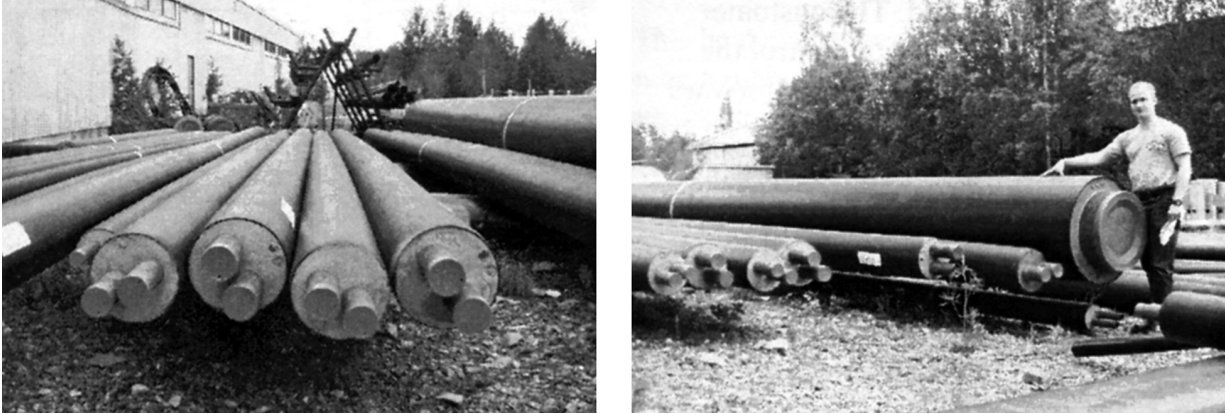
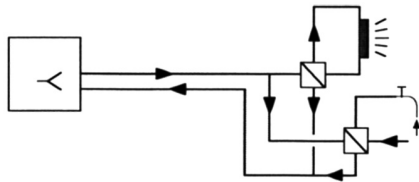


Рис. 8.1.2. Трубы системы централизованного теплоснабжения. Источник: Кески суомен Энергиотоймисто (Keski Suomen Energiotoimisto).



Источник: "Студентилиттератур", 1993.

Рис. 8.1.3. Двухтрубная линия трубопровода.

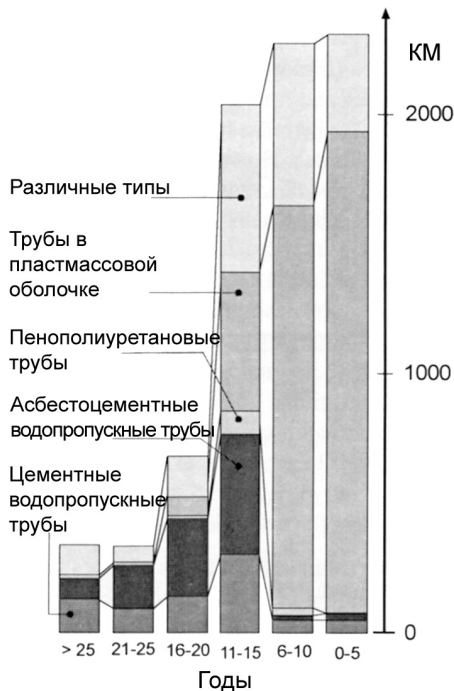


Рис. 8.1.4. Использование различных типов труб в системах централизованного теплоснабжения в Швеции (1989 г.)

Вместе с тем в системах централизованного теплоснабжения могут происходить потери тепла или давления в результате изменения условий эксплуатации. Кроме того, высокая стоимость прокладки трубопроводов ограничивает степень рентабельности систем централизованного распределения тепла.

Большинство систем централизованного теплоснабжения имеет двухтрубную конструкцию. Это означает, что под землей прокладываются два трубопровода — подающий трубопровод и обратный трубопровод (рис. 8.1.3). Имеются также системы с одно-, трех- и четырехтрубными трубопроводами. Стоимость системы возрастает с увеличением числа трубопроводов. При этом использование нескольких трубопроводов повышает гибкость процесса распределения.

В централизованных системах теплоснабжения используются различные типы трубопроводов. В некоторых случаях выбор типа трубопровода зависит от требуемого диаметра трубы. Выбор типа трубопровода также производится с учетом грунтовых условий — таких, например, как наличие грунтовых вод.

Старые сети не дают полного представления о конструкции современных систем. За последние годы произошли значительные изменения в технологии строительства трубопроводов. Более не применяются многие прежние конструкции, в то же время были разработаны новые типы трубопроводов. Одним из основных направлений развития технологий в этой сфере является производство сборных конструкций, использование которых снижает затраты на строительство сети и сокращает время прокладки трубопроводов. Это особенно важно при строительстве сетей теплоснабжения в городах, где такое строительство может вызывать перебои в движении авто-

транспорта. В последнее время получили распространение трубы в пластмассовой оболочке, которые заменили многие прежние типы труб (рис. 8.1.4).

8.1.3 Оборудование пользователя

В системе оборудования пользователя (рис. 8.1.6) тепловая энергия передается от распределительных трубопроводов сети на один или несколько вторичных теплоносителей в домах, подключенных к системе централизованного теплоснабжения. Оборудование пользователя обычно включает один или несколько теплообменников (раздел 8.1.3.1) или участков теплопередачи в зависимости от типа подключения – прямого или непрямого – радиаторной сети и от того, является ли система водопровода замкнутой или открытой (рис. 8.1.5).

Оборудование пользователя также включает регулирующие клапаны (раздел 8.1.3.2), запорные клапаны, фильтры, счетчики и т.д.

Выбор типа подключения осуществляется с учетом следующих факторов:

- ♦ Первичная вода должна быть в достаточной степени охлаждена. Оборудование пользователя не должно регулировать температуру первичной воды, поступающей из подающего трубопровода.
- ♦ Подача горячей водопроводной воды должна быть неограниченной. Другими словами, потребители должны получать воду требуемой температуры независимо от условий тепловой нагрузки в системе.
- ♦ Необходимо принять меры по предотвращению повреждений теплообменников и водяных радиаторов, вызываемых утечками воды.
- ♦ Следует использовать эффективную и точную систему выставления счетов.
- ♦ Необходимо минимизировать затраты на капитало- вложения и техническое обслуживание.

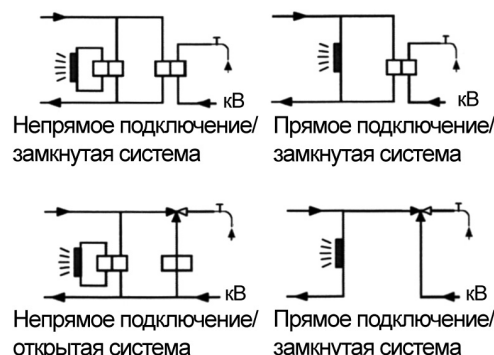


Рис. 8.1.5. Различные варианты сочетаний типов подключений и систем циркуляции радиаторной системы и системы водопровода.

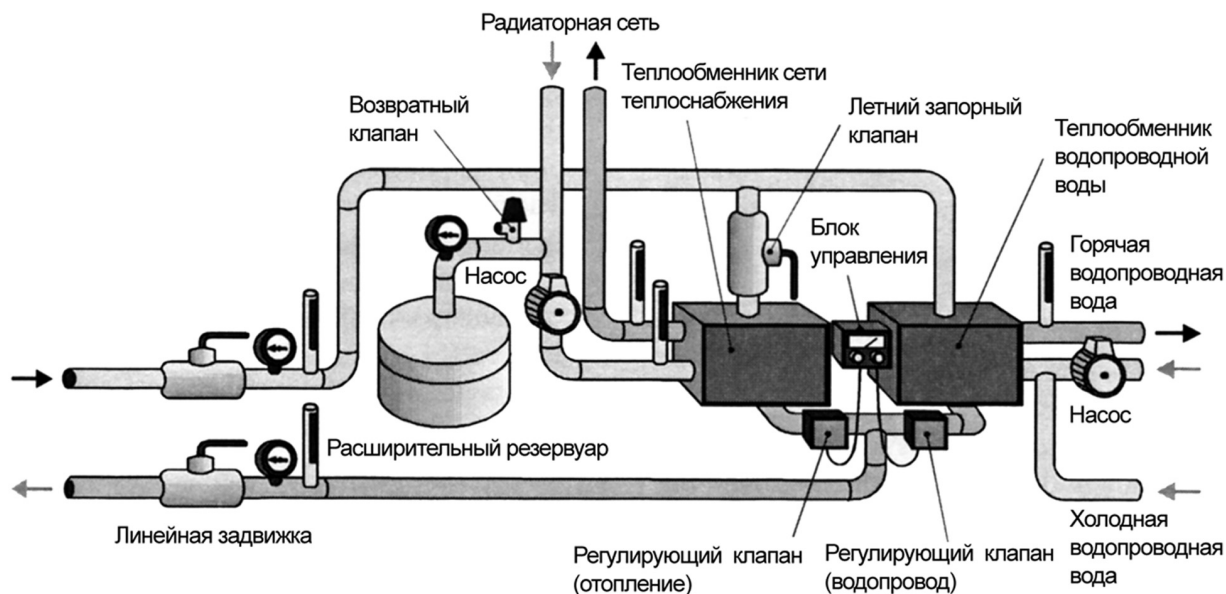


Рис. 8.1.6. Оборудование пользователя (Источник: Финская ассоциация систем централизованного теплоснабжения / <http://www.energia.fi>).

8.1.3.1 Теплообменники

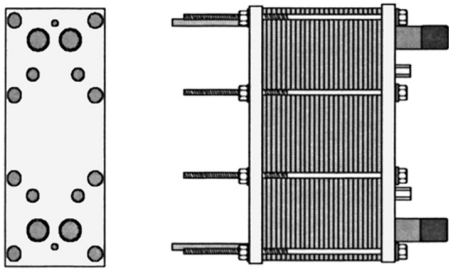


Рис. 8.1.7. Теплообменник Источник: "Студентилиттератур" (Studentilitteratur), 1993).

Наиболее распространены плоские теплообменники (рис. 8.1.7). В этом устройстве первичный и вторичный теплоносители движутся навстречу друг другу между параллельными пластинами, в каждой из которых имеется по четыре угловых отверстия и которые образуют квадратную секцию каналов теплообменника. Как правило, используются гофрированные пластины, которые увеличивают турбулентность потока и улучшают теплопередачу.

Как правило, в таком теплообменнике вокруг отверстий в канавках устанавливаются резиновые уплотнительные прокладки для изоляции потоков воды.

8.1.3.2 Система управления

В Швеции управление работой оборудования крупных пользователей осуществляется с применением стандартной системы управления (рис.8.1.8).

Управляющая схема осуществляет управление параметрами потока первичного теплоносителя в обоих теплообменниках. Регулирующий клапан, управление работой которого осуществляет блок управления (на рис. обозначен R) в соответствии с характеристиками каждой нагрузки, соединен последовательно с теплообменником. Термостат осуществляет контроль температуры воды. Термостат направляет сигнал температуры водопроводной воды в блок управления, измеренный датчиком температуры. Управление параметрами радиаторной сети осуществляется в соответствии с температурой наружного воздуха и требуемыми характеристиками температуры.

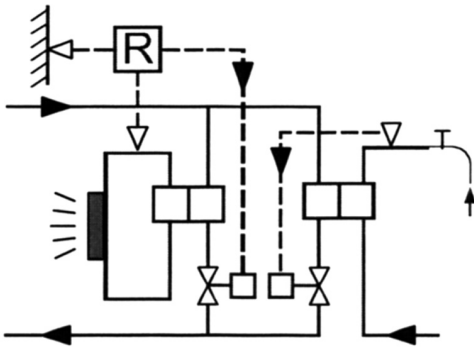


Рис. 8.1.8. Стандартная схема управления "Студентилиттератур" (Studentilitteratur, 1993).

8.2 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

8.2.1. Шведская система электроснабжения

При написании раздела 8.2 использовались материалы публикации Энержифакта (Energifakta) (издание "Свенск Энержифорсойнинг" (Svensk Enrgiforsorjning), 1993).

Осуществление поставок электроэнергии потребителям требует использования передающих и распределительных сетей электроснабжения.

Так называемая основная электроэнергетическая система включает систему передающих сетей электроснабжения Швеции и соединения с соседними странами. Часть основной электроэнергетической системы, расположенная к югу от реки Скеллефтеа в Швеции, образует внутреннюю электроэнергетическую систему. Внутренняя система не имеет соединений с соседними странами.

Основная электроэнергетическая система является главной сетью электроснабжения Швеции. Она соединяет крупные энергетические объекты с региональными передающими сетями, которые осуществляют передачу электроэнергии конечным потребителям и посредникам. Основная электроэнергетическая система также позволяет осуществлять экономически эффективное разделение производства электроэнергии между существующими производителями электроэнергии.

В случае необходимости внесения изменений в систему электроснабжения в результате снижения производства ядерной энергии или реализации новых энергетических проектов структура основной электроэнергетической системы предоставляет достаточно широкий выбор районов для размещения новых энергетических объектов. Внутренняя электроэнергетическая сеть включает около 15 500 км кабеля и ежегодно распределяет около 100 ТВт электрической энергии, что составляет треть общего объема вырабатываемой в Швеции электроэнергии.

Надежность основной электроэнергетической системы зависит главным образом от технических характеристик и нагрузок сетей электроснабжения. По мере развития производства электроэнергии и повышения эффективности действующих и строительства новых энергетических объектов необходимо соответственно расширять существующие сети электроснабжения. Обеспечение и повышение уровня надежности сетей электроснабжения требует постоянных усилий.

Несмотря на принимаемые меры по техническому обслуживанию сетей электроснабжения, в электроэнергетической системе регулярно происходят повреждения оборудования от ударов молний. Сети оснащаются системами защиты, которые в большинстве случаев отключают поврежденные части сети, что позволяет защитить пользователей от воздействия таких нарушений.

Более длительные прерывания подачи электроэнергии происходят редко. Общая длительность перерывов в электроснабжении крупных предприятий и электронных компаний в течение года составляет всего 30 минут, из которых 5 минут приходится на нарушения в основной электроэнергетической системе, а остальное время – на нарушения в региональных электросетях.

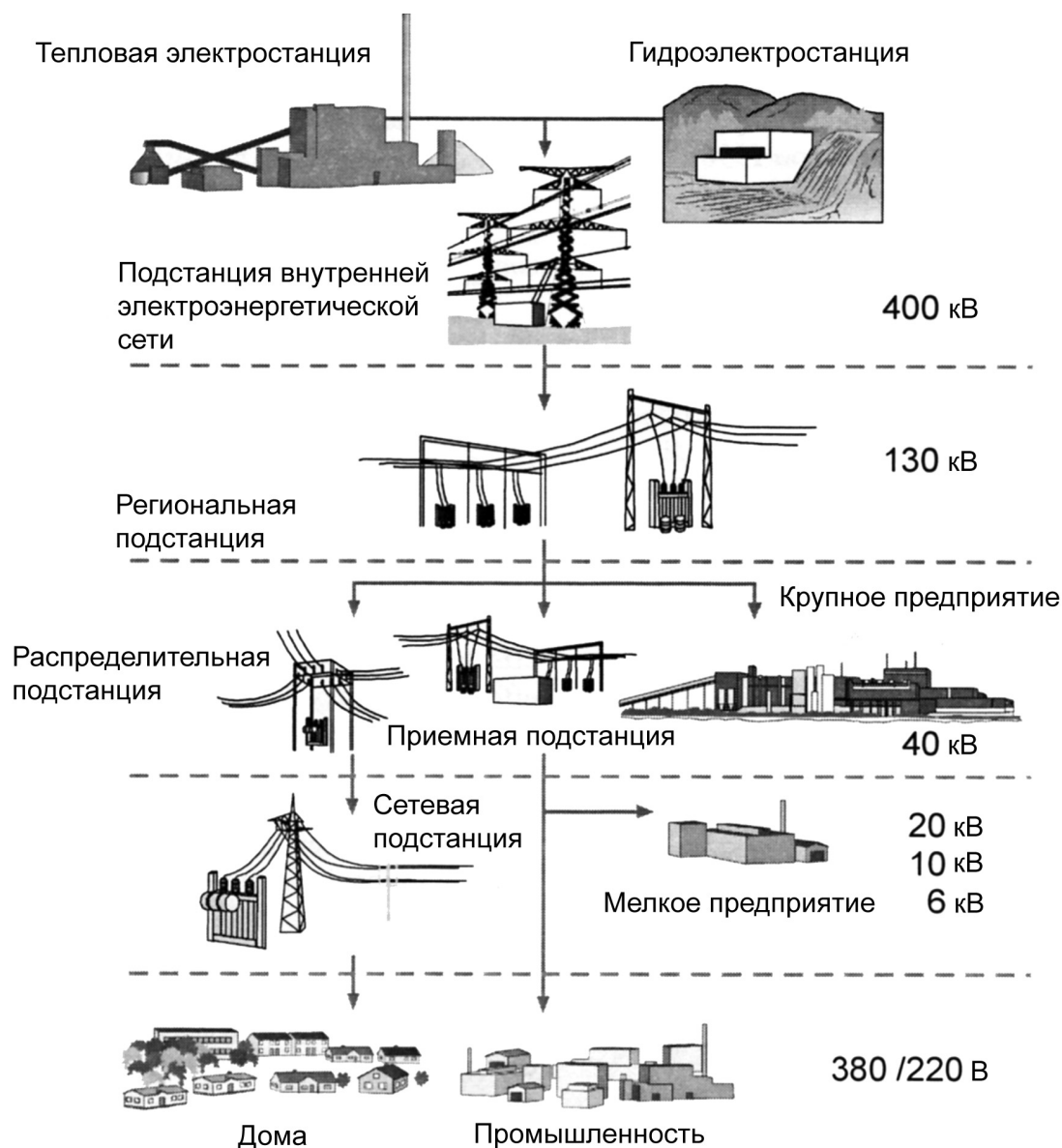


Рис. 8.2.1. Распределение электроэнергии от электростанции до потребителя. Источник: "Свенска kraftverksforeningen" (Svenska Kraftverksforeningen).

Иногда эффективность распределения электроэнергии в сети электроснабжения снижается настолько, что приводит к значительным перебоям в подаче электроэнергии. В этом случае несколько крупных энергетических станций отключаются от сети и потребители перестают получать электроэнергию. Обычно такие перебои происходят в результате сочетания нескольких нарушений.

Простые ошибки, вызывающие незначительные сбои, могут привести к выходу из строя всей сети. Такие перебои могут продолжаться в течение достаточно длительного времени. Таким образом, при секционировании основной электроэнергетической сети одной из главных задач является предотвращение или, по меньшей мере, минимизация этих рисков. Однако расширение сетей электроснабжения требует значительных затрат, что в определенной мере ограничивает возможность предотвращения таких перебоев.

Перебои, которые воздействуют на ситуацию с электроснабжением в масштабе всей страны, происходят редко. Только одно из 1500 прерываний электроснабжения, или один перебой в течение десяти лет, оказывает воздействие на электроснабжение всей страны. Несмотря на низкое число перебоев, меры по развитию электросетей направлены на снижение риска аварий, так как они оказывают значительное негативное воздействие на условия жизни населения.

Национальная электроэнергетическая система создает благоприятные возможности для сотрудничества различных энергетических компаний в рамках всей страны. Электроэнергетическая система Швеции может соединяться с электроэнергетическими системами других стран. Для координации этой деятельности была создана специальная группа. Электроэнергия передается по высоковольтным линиям (400 кВ и 200 кВ) (рис. 8.2.1), так как способность линии электропередачи передавать электроэнергию уменьшается с уменьшением напряжения. Использование более низкого напряжения приводит к значительным потерям при распределении электроэнергии.

В районе потребления электроэнергии ее напряжение снижается с 400 до 220 или 130 кВ. После этого напряжение электроэнергии снова снижается в соответствии с нуждами потребителей.

Подстанции средней мощности и крупные потребители подключаются к сетям напряжением 220 и 130 кВ. Большинство крупных предприятий и подстанции малой мощности подключаются к сетям напряжением 70 и 40 кВ.

Местные распределительные сети напряжением 20 и 10 кВ обслуживают мелкие предприятия, крупных оптовых потребителей и подстанции малой мощности. Мелкие потребители, в основном домашние хозяйства, подключаются к сетям низкого напряжения.

9. ПОЛУЧЕНИЕ ЭНЕРГИИ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

9.1. ВВЕДЕНИЕ

Наиболее важными причинами стимулирования использования энергии леса и древесного топлива являются требования к охране окружающей среды. Хотя производство энергии из древесины может быть менее экономически выгодным для страны по сравнению с использованием ископаемого топлива, эта энергия может играть важную роль в национальной экономике как альтернатива энергии, получаемой из ископаемого топлива, а также с точки зрения охраны окружающей среды (Hakkila and Frederiksson 1996).

Производство любых видов энергии оказывает воздействие на окружающую среду. Вихэсаари (Wihersaari 1996) вычислил и сравнил потребность в энергии различных производственных цепочек по производству биомассы. Производство биомассы осуществляется не без использования ископаемого топлива. От 2 до 6% выработанного топлива расходуется в производственном процессе. Это количество значительно выше, если биотопливо подвергается дальнейшей переработке с целью получения альтернативного топлива, предназначенного для замещения ископаемого (дизельного) топлива. Потребность в энергии при производстве ископаемого топлива выше, чем при получении первичного биотоплива (Wihersaari, 1996).

Выбор топлива и технологии его производства в большей степени определяются экологическими факторами. Сравнение различных производственных процессов производства энергии следует производить с учетом всех производственных фаз: заготовки, переработки, хранения и транспортировки топлива, а также сбора и удаления отходов. Также необходимо учитывать воздействие на процесс производства строительных работ, использования сырья, химикатов и т.д. Такая всесторонняя системная оценка получила название "оценка жизненного цикла", или ОЖЦ (LCA) (VTT Energia 1999, Malkki et al.).

На практике сбор данных, моделирование факторов воздействия на окружающую среду, сопоставление полученных результатов или их оценка представляют собой чрезвычайно сложный процесс со множеством упрощений, подверженный субъективной оценке. Многие методы оценки, разрабатываемые в настоящее время, еще не получили распространения. Имеется несколько показателей, как качественных, так и количественных, с помощью которых можно описать относительные свойства определенного типа производства энергии. Малкки и др. (VTT Energia 1999, Malkki et al.) указывают следующие факторы воздействия на окружающую среду:

- ◆ изменение климата;
- ◆ истощение озонового слоя;
- ◆ окисление;
- ◆ эвтрофикация водных систем;
- ◆ воздействие на здоровье населения;
- ◆ использование ресурсов, включая землепользование, водопользование, потребление материалов и т.д.;
- ◆ образование фотохимических окислителей;
- ◆ экотоксичное воздействие;
- ◆ биоразнообразие;
- ◆ внешние издержки;
- ◆ опасность экологических катастроф.

Показателями воздействия на окружающую среду могут также служить, например, воздействие твердых отходов, воздействие на ландшафт, уровень тепловых выбросов, шум и запах. В будущем могут быть также разработаны показатели, отражающие социально-экономические и этические аспекты (Malkki et al. 1999). В целом экологическая конкурентоспособность энергии древесины оценивается достаточно высоко с учетом уровней выбросов двуокисей углерода и серы. Однако в настоящее время проблема заключается в том, что отсутствует детальная и достаточно соизмеримая оценка жизненного цикла процесса производства энергии из древесины. Поэтому в этой области требуется выполнение дальнейших исследований.

Недавно в Финляндии была начата реализация новой программы, названной "Программа развития технологии производства энергии из древесины 1999-2003", в которой определены цели исследований по изучению ряда экологических вопросов, относящихся к производству энергии из древесины, включая воздействие на баланс питательных веществ и производство лесоматериалов, материальные потоки, углеродный баланс, анализ жизненного цикла и затраты на охрану окружающей среды (Hakkila 1999). Хотя многое уже было сделано, имеется ряд вопросов, требующих более подробного изучения в течение более длительного времени.

В связи с особым характером воздействия на окружающую среду процесса производства древесного топлива в настоящем разделе мы уделим основное внимание вопросам его производства и использования, включая воздействие заготовки биомассы на плодородие лесных почв (9.2), выбросы при сжигании топлива (9.3), утилизацию биозолы (9.4), а также роль древесного топлива в предотвращении парникового эффекта (9.5). В разделе 9.6 рассматриваются некоторые другие аспекты охраны окружающей среды, многоцелевое использование лесов и условия рабочей среды.

9.2. БАЛАНС ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ

Проведение лесозаготовительных работ нарушает баланс лесной экосистемы. Удаление не только стволовой древесины, но и листвы усугубляет это воздействие, еще более увеличивая потери питательных веществ и снижая плодородие лесной почвы. Например, надземная часть деревьев молодняка сосны (этап первого прореживания) содержит 60% азота (N), фосфора (P) и калия (K) (Hakkila and Frederiksson 1996).

Сбор лесосечных отходов может оказывать косвенное воздействие на рост и экологическое состояние леса, например изменять микроклимат и микробную активность, окислять почву и замедлять минерализацию азота в гумусном слое (Hakkila and Frederiksson 1996).

Цикл обмена питательными веществами в системе "почва-растение" является неотъемлемой частью лесной экосистемы. Часть питательных веществ, поглощаемая деревьями, возвращается обратно в почву с опадом, однако большая их часть накапливается в биомассе и высвобождается только при разложении биомассы после гибели дерева. Цикл этого оборота не является полностью замкнутым, так как процесс выщелачивания вызывает потери питательных веществ, а разложение минеральных веществ и атмосферные осадки повышают количество питательных веществ, которые могут поглощаться растениями. На рис. 9.1 показан оборот питательных веществ в лесной экосистеме.

Потери питательных веществ оказывают хотя и постепенное, но долговременное воздействие. Например, высвобождение азота и фосфора из ветвей начинается только через десять лет после рубки. Поэтому исследования по изучению воздействия изъятия биомассы на лесную экосистему следует проводить в рамках долговременных научно-исследовательских программ. В настоящее время североевропейскими странами реализуется совместная программа исследований по изучению воздействия на рост хвойного древостоя заготовок целых деревьев на участках ранних прореживаний (Jacobsen et al. 1996). В течение первых пяти лет воздействие было незначительным, однако исследователи предполагают, что со временем оно должно возрасти.

Результаты научных разработок, проводившихся Финским институтом лесных исследований, показали, что заготовка целых деревьев при первых рубках прореживания соснового древостоя не вызвала заметных потерь, в то время как в еловом древостое скорость роста уменьшилась приблизительно на 10% (Kukkola and Malkonen 1993). В экологически уязвимых районах (например, имеющих почвы с низким содержанием питательных веществ) заготовку крон осуществлять не следует.

В процессе роста древостоя происходит естественное окисление почвы, так как древесина растущих деревьев связывает положительные ионы (т.е. катионы, такие как NH_4^+ , Ca_2^+ и K^+). Только после гибели деревьев и возвращения катионов в почву происходит восстановление кислотности до прежнего уровня. При полном изъятии биомассы этот процесс компенсации нарушается. По данным некоторых исследований, выполненных в Швеции, при очистке лесосек после рубок главного пользования степень воздействия на кислотность почвы составляла около 0,1 единицы pH (Nykqvist & Rosen 1984).

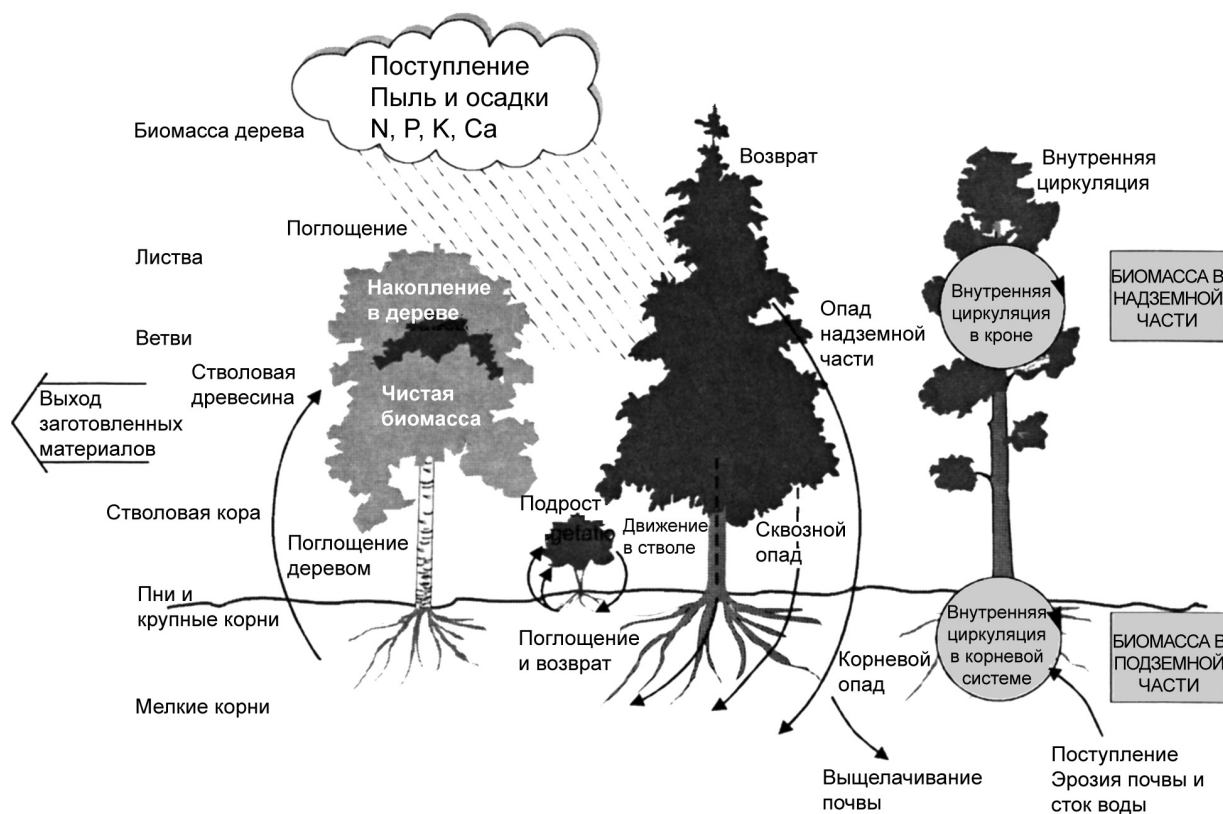


Рис. 9.1. Оборот питательных веществ в лесной экосистеме; по материалам публикации Кимминса (Kimmins, 1987), и Малконена (Malkonen, 1974).

Вместе с тем заготовка лесосечных отходов при рубках главного пользования уменьшает выщелачивание минеральных веществ, т.е. нитратного азота, в течение нескольких лет после рубки. Степень выщелачивания азота, кальция и магния на участках заготовок целых деревьев составляла 67-68% степени выщелачивания на участках древостоя, где заготавливалась только стволовая древесина (Alakangas et al. 1999). Также при удалении лесосечных отходов снижалась эвтрофикация растительного покрова. Это оказывало положительное воздействие на процесс регенерации.

Величина потерь питательных веществ в значительной мере зависит от того, в каком виде производится заготовка лесосечных отходов — в свежесрубленном (зелеными) или подсушенном (бурыми). Как указывалось ранее, хвоя и зеленая листва содержат значительное количество питательных веществ. Если хвоя остается на лесосеке, например когда крону оставляют для подсушивания на несколько недель или месяцев и хвоя осыпается, большая часть питательных веществ переходит в почву. Однако при этом снижается выход заготавливаемой биомассы и возрастают издержки, связанные с лесозаготовительными работами. В каждом случае для решения этой проблемы необходимо находить приемлемое компромиссное решение.

Экологически приемлемым решением была бы утилизация биозолы, образующейся при сгорании топлива, обеспечивающая возврат всех питательных веществ (кроме азота), потерянных при заготовке биомассы, в почву участка вырубленного древостоя. Однако на практике имеется ряд проблем и ограничений, связанных с процессом утилизации. Методы утилизации биозолы более подробно описываются в разделе 9.4.

9.3 ВЫБРОСЫ

При сжигании топлива двуокись углерода и вода, связанные в процессе фотосинтеза, возвращаются в атмосферу. Одновременно образуются продукты горения, некоторые из которых могут оказывать вредное воздействие. Количество и состав выбросов зависят от качества сжигаемого топлива, конструкции котла, температуры пламени и некоторых других условий сжигания (Nakkila and Frederiksson 1996). В целом древесина является более экологичным видом топлива, чем, например, нефть, уголь или торф.

9.3.1 Двуокись серы

Древесная биомасса имеет очень низкое содержание серы по сравнению с содержанием серы в торфе, угле или нефти. Содержание серы в стволовой древесине составляет 0,01%, в коре — 0,02-0,1% и в хвое — 0,04-0,2% сухой массы.

Так называемая энергетическая ива имеет более высокое содержание серы (Hakkila and Frederiksson 1996). На практике при сжигании древесины общее количество образующихся выбросов SO₂ незначительно (табл. 9.1). Поэтому при сжигании древесины не требуется использование специального оборудования для очистки выбросов от серы (Wihersaari 1996). На рис. 9.2 представлено сравнение выбросов SO₂ при сжигании различных видов топлива в новой установке системы централизованного теплоснабжения мощностью 5 МВт и установке комбинированного производства тепловой и электрической энергии мощностью 17/40 МВт.

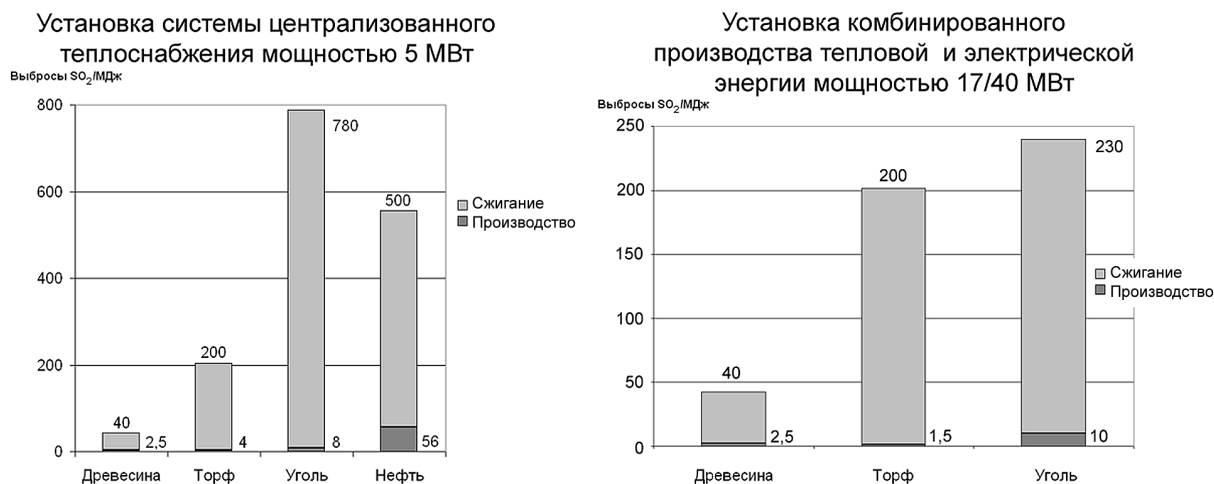


Рис. 9.2. Выбросы двуокиси серы при производстве и сжигании топлива в новой установке системы централизованного теплоснабжения мощностью 5 МВт и установке комбинированного производства тепловой и электрической энергии мощностью 17/40 МВт (Wihersaari 1996).

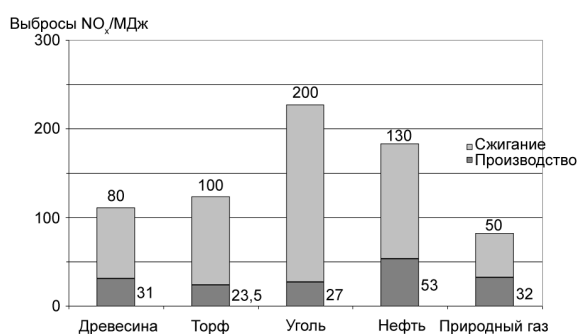
Таблица 9.1. Доля общего количества выбросов двуокиси серы (%) в производственном цикле (Wihersaari 1996).

	Древесина	Торф	Уголь	Нефть	Природный газ
SO ₂ ; установка системы централизованного теплоснабжения. 5 МВт	6	1	1	10	100
SO ₂ ; ТЭЦ, 17/40 МВт	6	1	4	Нет данных	Нет данных

9.3.2 Окислы азота

Древесная биомасса имеет низкое содержание окислов азота. Сухая масса стволовой древесины и коры содержит только 0,1-0,5% азота, а в хвое его 1-2%. Содержание азота в торфе составляет от 0,5 до 2%, а в угле от 0,8 до 1,2%. Сжигание древесины характеризуется низким уровнем выбросов, в особенности при низкотемпературном процессе горения (Hakkila and Frederiksson 1996). На рис. 9.3 и в табл. 9.2 представлено сравнение выбросов NO_x при сжигании различных видов топлива в новой установке системы централизованного теплоснабжения мощностью 5 МВт и установке комбинированного производства тепловой и электрической энергии мощностью 17/40 МВт. В этом случае древесина также способна конкурировать с ископаемыми видами топлива (Wihersaari 1996). Образование окислов азота представляет собой очень сложный процесс, который в значительной степени зависит от условий горения. Важными факторами являются система подачи воздуха, температура реакции и в особенности распределение температуры.

Установка системы централизованного теплоснабжения мощностью 5 МВт



Установка комбинированного производства тепловой и электрической энергии мощностью 17/40 МВт

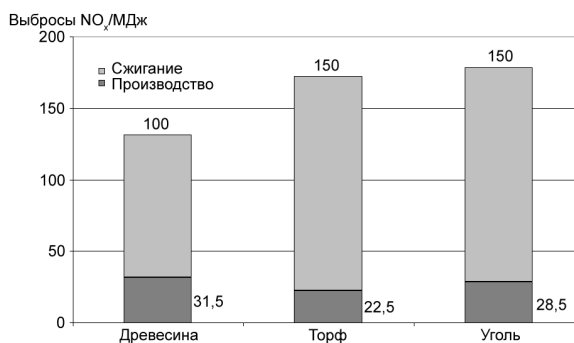


Рис. 9.3. Выбросы двуокиси азота при производстве и сжигании топлива в новой установке системы централизованного теплоснабжения мощностью 5 МВт и установке комбинированного производства тепловой и электрической энергии мощностью 17/40 МВт (Wihersaari 1996).

Таблица 9.2. Доля общего количества выбросов двуокиси азота (%) в производственном цикле (Wihersaari 1996).

	Древесина	Торф	Уголь	Нефть	Природный газ
NO_x; установка системы централизованного теплоснабжения. 5 МВт	28	19	12	29	39
NO_x; ТЭЦ, 17/40 МВт	24	13	16	Нет данных	Нет данных

9.3.3 Органические соединения

Характер процесса горения зависит от соотношения газообразных и твердых веществ в топливе. Летучие вещества образуют органические соединения, которые преобразуются в двуокись углерода и воду. При горении в условиях недостатка кислорода сжигание является неполным, что приводит к образованию угарного газа (СО) и различных углеводородов (C_xH_y), которые выходят с топочным газом. Органические газы и смолы, образующиеся в результате неполного сгорания топлива, вызывают загрязнения, создают неприятный запах и оказывают вредное воздействие на здоровье. Некоторые соединения являются канцерогенными и мутагенными (Hakkila and Frederiksson 1996).

Древесина и торф имеют высокое по сравнению, например, с углем содержание летучих веществ – 75-85%. Это увеличивает вероятность образования остаточных продуктов горения. Для полного сгорания необходима минимальная температура 900°С. При сжигании угля, особенно в печах домов малой площади и котлах, достаточно сложно создать необходимую температуру горения и гарантированную подачу необходимого количества кислорода. Например, высокое содержание влаги в древесине и применение устаревшего оборудования могут уменьшать температуру пламени до уровня ниже критического (Hakkila and Frederiksson 1996).

Применение современных установок позволяет автоматизировать загрузку топлива, поддерживать достаточно высокую температуру и регулировать время горения, что делает возможным полное сгорание. Например, в Австрии обязательным требованием является испытание котлов перед их коммерческой реализацией. Определяются предел тепловой мощности, КПД котла, период горения топлива, состав отходящих газов, а также такие параметры, как температура топливного газа на выходе и характеристики выбросов. Проведение с середины 1980-х гг. испытаний котлов в Австрии способствовало развитию технологии производства котлов и повышению качества процесса сгорания. Например, уровень выбросов органических газообразных углеродов и угарного газа снизился до 1/10-1/100 первоначального уровня (Lasselsberger 1999).

В Дании с 1995 г. действует система субсидирования эксплуатации котлов малой мощности на древесной биомассе. Система предназначена для стимулирования использования биомассы для целей теплоснабжения и содействия развитию технологий производства и методов эксплуатации котлов малой мощности, работающих на биомассе, так как в Дании уровень субсидирования зависит от КПД

и экологичности (т.е. уровня выбросов CO и частиц) котлов. В целом применение системы испытания котлов и системы субсидирования в Дании было успешным. Процедура утверждения типа котла способствовала развитию конструкции котлов и снижению уровня выбросов (Germann 1999).

9.3.4 Пыль

При сжигании твердого топлива также образуются мелкие частицы пыли. Эти выбросы включают три компонента: неорганическую золу, кокс и мелкодисперсный уголь, которые образуются в результате неполного сжигания пиролизных газов (Hakkila and Frederiksson 1996).

Выбросы пыли представляют более значительные проблемы для небольших домов при сжигании топлива в котлах малой мощности, в особенности если котел используется при частичной нагрузке. Вместе с тем в современных котлах с автоматической загрузкой топлива уровень выбросов пыли и других компонентов может легко контролироваться с помощью датчиков и регулироваться посредством изменения режимов подачи топлива и воздуха. Оптимизировав процесс горения, можно и обеспечить требуемый уровень выбросов. В будущем расчет режима подачи топлива в зависимости от требуемого количества теплоты позволит значительно улучшить эксплуатационные характеристики котлов на щепе и котлов на дровах с ручной загрузкой, в особенности при частичной нагрузке. Процесс горения легче контролировать в котлах на гранулированной древесине, так как этот вид топлива имеет более однородный состав (Lasselsberger 1999).

В целом современные котлы средней и большой мощности имеют такой же уровень выбросов, как и котлы аналогичной мощности, работающие на мазуте, угле или торфе, т.е. 0,01-0,08 г/МДж топлива (Wihersaari 1996)

9.3.5 Тяжелые металлы

Все виды топлива содержат тяжелые металлы. Их содержание может быть выше в твердых видах топлива. Вместе с тем удельный вес тяжелых металлов значительно ниже в древесной биомассе по сравнению с ископаемыми видами топлива (уголь, торф и т.д.). Исключение могут составлять древесные отходы, полученные при сносе и разрушении зданий и сооружений, и другие промышленные отходы, так как в зависимости от прежнего применения они могут быть загрязнены остатками краски, клея, консервантами, частицами металла, резины, пластика. В этом случае содержание тяжелых металлов может быть значительным. Такая древесина не подлежит сжиганию в котлах обычного типа (Hakkila and Frederiksson 1996, The Center of Biomass Technology 1999).

Нильсонн и Тимм (Nilsson and Timm 1983), исследователи Шведского агентства по защите окружающей среды (Naturvardsverket), выполнили сравнение содержания тяжелых металлов в различных видах твердого топлива: угле, торфе и древесине (табл. 9.3). Следует отметить, что колебания значений могут быть значительными в пределах одного класса.

Таблица 9.3. Среднее содержание тяжелых металлов в угле, торфе и древесине (Nilsson and Timm 1983).

Тяжелый металл	Уголь	Торф	Древесина
Мышьяк (As)	150	100	5
Кадмий (Cd)	10	10	10
Кобальт (Co)	150	100	10
Хром (Cr)	400	250	50
Медь (Cu)	500	500	100
Ртуть (Hb)	4	5	1
Марганец (Mn)	2000	4500	5000
Никель (Ni)	400	300	50
Свинец (Pd)	500	250	200
Ванадий (Vn)	900	450	100
Цинк (Zi)	1000	900	1200

9.4 УТИЛИЗАЦИЯ БИОЗОЛЫ

9.4.1 Общие положения

При изъятии биомассы из лесной экосистемы вместе с ней изымаются содержащиеся в биомассе питательные вещества. Содержание питательных веществ в вершинах и ветвях, частях дерева, которые в основном используются в качестве топлива, выше, чем в стволовой древесине. Важную роль в развитии долговременного промышленного потенциала леса играет поддержание баланса между минеральными веществами — такими, как кальций (Ca), калий (K) и магний (Mg). Как указывалось ранее, минеральные вещества, основным источником которых в лесу является разлагающаяся древесина, изымаются при заготовке древесины (Strom 1994).

Удаление из леса не только стволовой древесины, но также вершин и ветвей, создает опасность того, что баланс питательных веществ может стать отрицательным, т.е. экосистема будет терять больше питательных веществ, чем получать. Таким образом, баланс питательных веществ определяет долговременное плодородие лесной почвы. Отсутствие механизма компенсации потери минеральных веществ может привести к снижению производственного потенциала леса. При сжигании биомассы большая часть питательных веществ (за исключением азота) переходит в золу. Утилизация золы компенсирует потери питательных веществ, вызванные заготовкой древесной биомассы (Strom 1994).

Зола содержит различное количество тяжелых металлов. Однако при утилизации ее в экосистему не поступают какие-либо "внешние или дополнительные" тяжелые металлы (Strom 1994). Как указывалось в разделе 9.3.5, содержание тяжелых металлов в древесине значительно ниже, чем, например, в угле или торфе. В табл. 9.4 приведены более подробные данные, характеризующие различия в содержании тяжелых металлов в торфяной и древесной золе.

Таблица 9.4. Сравнение содержания тяжелых металлов в торфяной и древесной золе¹. Среднее содержание на 12 различных теплофикационных объектах Швеции². Среднее значение по данным, полученным на 10 различных теплофикационных объектах Швеции³. Среднее значение по данным, полученным на 3 различных теплофикационных объектах Швеции⁴. Значение, полученное на 1 теплофикационном объекте Швеции (Eriksson 1993).

Зола	P%	S%	Si%	As мгкг ⁻¹	Cd мгкг ⁻¹	Cu мгкг ⁻¹	Pb мгкг ⁻¹	Zn мгкг ⁻¹
Зольная пыль - древесина ¹	0,83	1,3	9,6	15,1	13,1	152,2	154,3	1667,5
Зольный остаток - древесина ²	0,9	0,4	15,3	19,6	4,0	155,2	118,5	1156,8
Зольная пыль - древесина ³	0,7	1,7	20,0	44,3	7,0	133,7	272,3	240,0
Зольный остаток - древесина ⁴	0,36	0,0	25,0	7,2	0,0	52,0	15,0	140,0

Древесная зола является щелочным веществом и, следовательно, может использоваться подобно извести для снижения отрицательного воздействия детоксификации. Степень воздействия одной тонны золы соответствует степени воздействия 150-450 кг кальция (Ca). Утилизацию золы и возвращение ее в лесную почву (рис. 9.4) не следует рассматривать как метод удаления отходов. Мы должны рассматривать древесину как один из видов природных ресурсов, а утилизацию золы — как одно из условий рационального применения биоэнергии (Strom 1994).

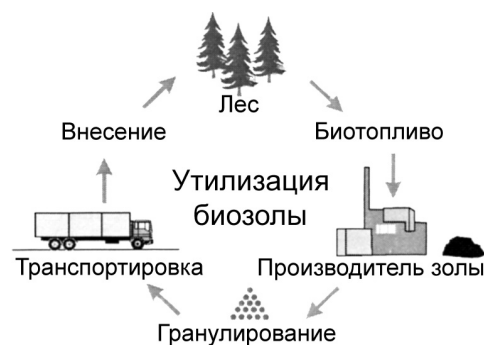


Рис. 9.4. Утилизация золы (Berggren 1998).

9.4.2 Общие требования государственных органов Швеции

Национальный совет по лесному хозяйству Швеции (НСЛХ) (SKS) осуществил реализацию проекта разработки так называемого ОЭВ (на шведском языке — Miljokonsekvensbeskrivning — описание экологических последствий) или "описания экологического воздействия" с тем, чтобы

стимулировать обсуждение вопросов, относящихся к изъятию из лесов топливной древесины, утилизации отходов и компенсации потерь питательных веществ. Этот обязательный документ, содержащий описание степени воздействия на окружающую среду проектируемых промышленных объектов, представляется для получения разрешения на строительство объекта. ОЭВ содержит предложения по методам утилизации золы. В настоящем разделе приводится краткое описание этих предложений, содержащих общие рекомендации по утилизации золы, дающее представление о современных методах (Egnell et al. 1998).

Описание экологического воздействия содержит следующие основные положения.

Требование компенсации

Основным требованием является изъятие вершин и ветвей только на тех участках, где возможны утилизация золы/компенсация питательных веществ (Egnell et al. 1998).

Степень утилизации золы

Требование компенсации относится к восстановлению катионов, содержащихся в вершинах и ветвях. Утилизация золы является основным альтернативным методом компенсации потерь питательных веществ (Egnell et al. 1998).

Максимальное количество золы, используемой для компенсации

Количество золы, используемой для компенсации при изъятии вершин и ветвей при восстановлении деревьев, не должно превышать трех тонн сухого веса золы на гектар. Количество золы, используемой для компенсации при восстановлении деревьев, если вершины и ветви не изымаются, не должно превышать двух тонн сухого веса золы на гектар. Этот метод предлагается в качестве метода компенсации изымаемых питательных веществ, содержащихся в стволовой древесине и коре (Egnell et al. 1998).

Скорость стабилизации золы

Зола, вносимая в лесную почву, должна быть отвержденной и агломерированной и иметь длительный период ощелачивания. Возможно ощелачивание на среднем этапе восстановления деревьев (Egnell et al. 1998).

Методы отверждения золы описаны в разделе 9.4.3.

Состав питательных веществ и токсичные вещества, содержащиеся в золе

Зола, предназначенная для внесения в лесную почву, должна отвечать требованиям Национального совета лесной промышленности Швеции (НСЛП), предъявляемым к содержанию питательных и токсичных веществ (табл. 9.5). Не допускается содержание в золе диоксинов в биологически опасных концентрациях. Содержание радиоактивных веществ в золе должно отвечать требованиям, установленным Институтом радиационной защиты Швеции (ИРЗ) (SSI) (табл. 9.6). Допускается использование смеси золы при условии обеспечения соответствия требованиям к качеству (Egnell et al. 1998).

Какое время является наиболее приемлемым для внесения золы в период роста деревьев?

Лучше всего золу вносить приблизительно за пять лет до выполнения рубки главного пользования (Egnell et al. 1998).

Какое время года является наиболее приемлемым для внесения золы?

Внесение золы должно производиться в основном в течение двух периодов: 1) после окончания весеннего периода, но не позже периода сбора урожая ягод; 2) после периода сбора грибов до наступления зимы (Egnell et al. 1998).

Документация

При утилизации золы документируются следующие данные:

- ♦ дата внесения золы;
- ♦ доза внесения;
- ♦ сертификат состава золы (Egnell et al. 1998).

Представление отчетов государственным органам

Отчеты о внесении золы представляются в Национальный совет по лесному хозяйству Швеции (НСЛХ), который может передавать соответствующую информацию другим органам (Egnell et al. 1998).

Надзор за внесением

Исполнитель работ должен обеспечить внесение требуемого количества и равномерность внесения золы, с учетом методов внесения азотных удобрений (Egnell et al. 1998).

Методы транспортировки и внесения золы описываются в разделе 9.4.4.

Таблица 9.5. Требования Национального совета лесной промышленности Швеции, предъявляемые к содержанию питательных и токсичных веществ.

Питательные вещества

Вещество	Характерный диапазон значений Общее содержание, %	Минимальное допустимое содержание, имеющееся для роста, кг/т
Магний	1-4,5	15
Фосфор	0,3-1,8	5
Калий	1,5-16	20
Кальций	7-35	100

Металлы, микроэлементы

Вещество	Характерный диапазон значений Общее содержание, частей на миллион (г/т)	Минимальное допустимое содержание в южной Швеции, частей на миллион (г/т)	
		минимальное	максимальное
Бор	140-430	100	500
Ванадий	<100		100
Хром	15-250		250
Марганец	5000-23000	5000	30000
Кобальт	2-15	2	100
Никель	20-250		200
Медь	25-600	50	500
Цинк	70-5300	500	6000
Мышьяк	2-100		20
Молибден	0,5-3	0,3	10
Кадмий	<1-30		30
Ртуть	0,001-1		5
Свинец	<25-500		250

Таблица 9.6. Требования Института радиационной защиты Швеции (SSI) к содержанию радиоактивных веществ в золе.

1. Внесение золы не рекомендуется осуществлять в зоне пастбищ (мохов и лишайников) оленей.
2. Внесение золы в лесные почвы (за пределами пастбищ оленей) рекомендуется производить в соответствии с рекомендациями Национального совета по лесному хозяйству Швеции (SKS) по внесению компенсационных удобрений, если зола содержит менее 5 кБк/кг. Утилизация золы не должна вносить дополнительного количества Cs^{137} в почву, уровень радиации которой превышает 1,5 кБк/м ² .
3. Зола, содержащая 5 кБк/кг Cs^{137} или более, помещается в специальное место хранения. ИПЗ определяет требования к месту хранения.
4. Все операции при работе с золой, включая работу в месте хранения, производятся в соответствии с методами, а также требованиями к уровню ионизирующей радиации, регулируемые Актом о радиационной защите Швеции (SFS 1988:220).
5. ИПЗ рекомендует, чтобы доза радиации, излучаемой при использовании золы, имеющей концентрацию менее 5 кБк/кг Cs^{137} , в качестве дорожного строительного или засыпного материала не превышала 0,0005 мЗв/ч при измерении на 1 м подготовленной поверхности.
6. Данные, относящиеся к радиационной защите, должны быть включены в материалы экологической экспертизы при подаче заявки на строительство установки на биотопливе.

9.4.3 Методы обработки золы

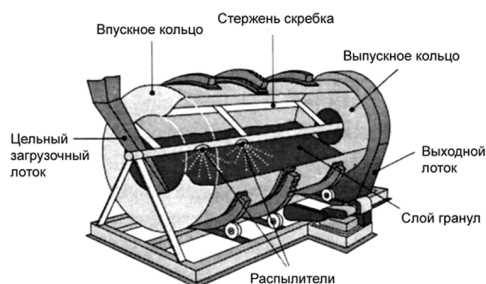
Зола является щелочным веществом, содержащим легко выщелачивающиеся соли. Резкое изменение величины pH и состава минеральных веществ в почве может оказать негативное воздействие на флору и микроорганизмы, содержащиеся в почве. Для предотвращения такого воздействия зола может подвергаться обработке, которая уменьшает скорость выщелачивания, т.е. стабилизирует золу. Увеличение величины pH почвы повышает количество нитратов, что увеличивает потери азота. Так как зола является щелочным веществом, существует риск увеличения выщелачивания нитратов в случае, если внесение золы вызовет резкое изменение характеристик кислотности почвы (Strom 1994).

Проводившиеся в течение нескольких лет исследования не выявили какого-либо отрицательного воздействия при внесении умеренных доз стабилизированной золы (1/3 т/кг) (Nohrstedt 1996).

Для получения стабилизированной золы исходная масса, представляющая собой смесь воды и золы, подвергается процессу отверждения. Отверждение может осуществляться посредством самоотверждения или гранулирования. Исследование процесса выщелачивания показало, что гранулированная зола характеризуется наиболее низкой скоростью выщелачивания (Hansson et al. 1998).

Гранулирование

Гранулирование означает процесс обработки мелкозернистых материалов с целью придания им кускообразной формы. Существует два метода гранулирования золы — гранулирование уплотнением и гранулирование вращением. В процессе уплотнения золу перемещают, подвергая воздействию давления, а при гранулировании вращением золу только перемещают (Nilsson 1993).



Одним из методов гранулирования вращением является гранулирование в барабане (рис. 9.5). Смесь золы с водой подается в барабан и формируется в увлажняющем шнеке. Для более компактной укладки смеси в барабане из золы формируется внутренняя ровная поверхность трения. Формирование зольной поверхности производится с помощью скребка, включающего вращающийся цилиндр с лопастями и стальными режущими кромками винтообразной формы. Режущие кромки, изготовленные из твердого металла, имеют длительный срок службы и почти не нуждаются в техническом обслуживании. Размеры формируемых зольных гранул

Рис. 9.5. Гранулирование во вращающемся барабане (источник: Nutek).

регулируются изменением угла и скорости вращения барабана (Nilsson 1993).

Одним из методов гранулирования уплотнением является вальцевание. Материал уплотняется при прохождении между вальцами и затем измельчается в хлопья (рис. 9.6). Затем хлопья размалываются и просеиваются для получения материала требуемых размеров.

9.4.4 Методы транспортировки и внесения

С тем, чтобы обеспечить рентабельность утилизации золы, необходимо использовать экономически эффективные системы погрузки/разгрузки и транспортировки золы, а также внесения золы в почву. Внесение золы в почву производится, как правило, с применением традиционных методов, например с использованием вертолета или наземных транспортных средств. Оборудование для внесения золы в основном аналогично оборудованию для внесения извести (Strom 1994).

Компанией Ваттенфалл были проведены практические исследования по изучению различных систем транспортировки и внесения золы, которые показали, что наиболее эффективной является транспортировка на грузовых автомобилях со сменными платформами. В этом случае в районы внесения доставляется точное количество необходимого материала. Транспортировка на щеповозах является более дешевым способом, однако в этом случае более сложной задачей является доставка точных количеств золы в районы внесения (Hansson et al. 1998).

Практические исследования, проведенные компанией Ваттенфалл, также показывают, что для внесения золы может использоваться специализированная техника (например, форвардер). Этот метод является более дешевым по сравнению с внесением золы с вертолета и не требует детализированного планирования районов внесения. На форвардер могут навешиваться пластинчатые или вентиляторные разбрасыватели. Вентиляторный разбрасыватель обеспечивает более равномерное распределение материала по сравнению с первым. Однако вентиляторный разбрасыватель не обеспечивает внесение требуемого количества золы с такой точностью, как пластинчатый разбрасыватель. Также легче вносить в почву гранулированную, чем самоотвержденную и измельченную золу (Hansson et al. 1998).

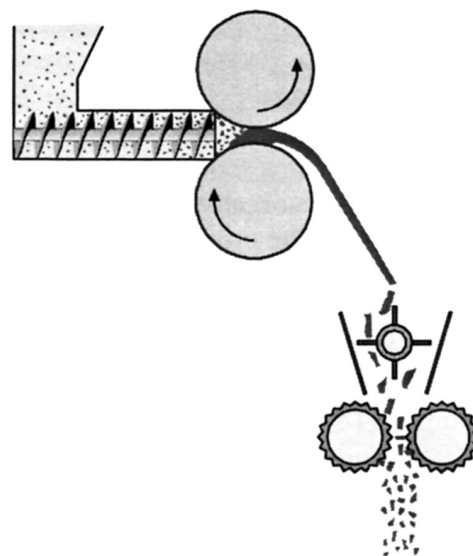


Рис. 9.6. Уплотнение вальцеванием (источник: Nutek).

9.5 ЭНЕРГИЯ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ И ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ

Так как процесс ассимиляции у зеленых растений является более интенсивным, чем процессы дыхания и разложения, экосистема действует как углеродный сток. В лесной экосистеме атмосферный углерод не только преобразуется в ткани живых деревьев и растений приземной зоны, но также содержится и в опаде, гумусном слое, торфе и поверхностном слое минеральной почвы (рис. 9.7). В таких странах, как Финляндия и Швеция, леса выполняют функцию углеродных стоков. Поэтому количество CO_2 , образуемой при сжигании древесного топлива, не определяется как количество чистых выбросов. Живая биомасса быстро расходует двуокись углерода, обеспечивающего рост новой биомассы. Вместе с тем разлагающееся в лесу дерево выделяет то же количество парниковых газов (двуокись углерода или метан), которое оно выделило бы при сжигании в котле. Выбросы метана при сжигании древесины минимальны, а основной их объем составляют выбросы от сжигания

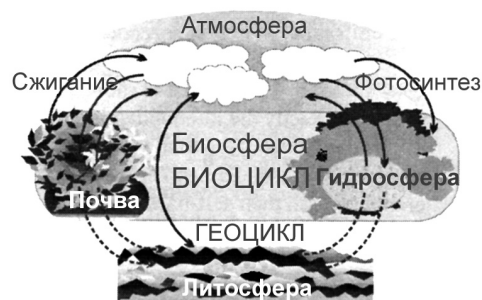


Рис. 9.7. Углеродный цикл (источник: <http://smy.tietovalta.fi>).

ископаемого топлива на этапе транспортировки и неполного сжигания в установках малой мощности (Bioenergin och klimatpaverkan, Nuutila 1999).

Одним из наиболее эффективных средств сокращения потребления энергии и снижения выбросов парниковых газов является применение установок комбинированной выработки тепловой и электрической энергии (ТЭЦ), использующих биомассу в качестве топлива. Эти установки потребляют на 30-35% меньше топлива, чем установки, осуществляющие раздельное производство теплоты и электроэнергии. Европейский Союз также определил задачи увеличения производства энергии из возобновляемых источников на установках ТЭЦ (Nuutila 1999, Asplund 1999).

Таким образом, можно заключить, что замена ископаемого топлива древесным окажет позитивное воздействие на состояние окружающей среды. При рациональном производстве лесозаготовительных работ использование древесины для энергетических целей не вызывает "чистого" роста количества атмосферной двуокиси углерода и не способствует глобальному потеплению.

9.6 ДРУГИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Важным, хотя и довольно редко рассматриваемым аспектом является состояние рабочей среды или условия гигиены труда при работе с древесной щепой и гранулированной древесиной. При работе, например, с древесной щепой могут возникать проблемы, связанные с гигиеной труда, относящиеся преимущественно к воздействию пыли и микроорганизмов — такие, как развитие грибов и бактерий. Возможно, распространение грибов и бактерий в щепе может происходить не во всех случаях, однако воздействие пыли считается наиболее серьезным фактором риска при работе с гранулированной древесиной (Центр технологии биомассы, 1999).

Эти проблемы, связанные с воздействием на здоровье людей, обычно возникают при вдыхании мелких частиц пыли. Споры грибов и бактерии, диаметр которых обычно составляет от 1 до 5 мкм, могут оставаться в воздухе во взвешенном виде в течение длительного времени. Острое заболевание, именуемое органическим пылевым токсическим синдромом, может возникать при пребывании человека в помещении с высокой концентрацией спор и/или пыли, составляющей 10 000-30 000 спор/литр. Типичные острые симптомы заболевания включают, например, сухой кашель, одышку и повышенную температуру. У людей, подвергающихся в течение длительного времени воздействию воздушной среды со средним содержанием микроорганизмов, составляющим приблизительно 2-3 млн. частиц/литр, могут возникать хронические бронхиальные заболевания — такие, как хронический кашель, хронический бронхит, аллергия и даже астма (Центр технологии биомассы, 1999; Castren and Lukkala 1986).



Рис. 9.8. Средства индивидуальной защиты от пыли и микроорганизмов (иллюстрация по материалам Lantbrukshalsan).

Кастрен и др. (Castren et al. 1995) и Кастрен и Луккала (Castren and Lukkala 1986) исследовали воздействие систем отопления на древесной щепе на состояние органов дыхания людей, работающих на сельскохозяйственных фермах. В сельскохозяйственном производстве имеется ряд факторов, оказывающих раздражающее воздействие на органы дыхания. Поэтому рекомендуется использовать средства защиты (рис. 9.8) не только при работе со щепой, но и при выполнении других сельскохозяйственных работ, связанных с воздействием пыли. Тесты на антитела показали, что большинство людей, занятых на работах в системе отопления, работающей на щепе, были подвержены воздействию содержащихся в щепе различных видов микробов. Кастрен и др. (Castren et al. 1995) обнаружили несколько видов микробов в переработанном на щепу лесоматериале, включая *Penicillium*, *Asptrgillus*, *Aureobasidium*, дрожжевые грибы, *Trichoderma*, *Cladosporidium*, *Oidodendron*, *Rhizopus*, *Streptomyces*, *Thermoactinomyces candidus* и *Thermoactinomyces vulgaris*.

Визуальная оценка микробиологических показателей качества щепы не дает достоверных результатов, так как щепы с "хорошим внешним видом" может иметь неудовлетворительные микробиологические показатели качества, например из-за ненадлежащих условий хранения и сушки

сырья. Микробы развиваются и размножаются в сырой щепе. По-видимому, размножение не происходит в щепе, влажность которой составляет менее 20%. Однако щепы, произведенная из подгнившей древесины, содержит микробы и их споры независимо от уровня влажности (Castren et al. 1995).

При использовании древесной щепы через короткое время после ее изготовления редко возникают проблемы, связанные с воздействием содержащихся в щепе микроорганизмов. Наибольшее количество пыли и микроорганизмов содержится в воздушной среде закрытых складов щепы. В маломощных установках, работающих на сжигании щепы, во многих случаях загрузка топлива в топку производится частично вручную. Те, кто регулярно выполняет эти работы, подвергаются риску воздействия опасных количеств пыли и микроорганизмов. Поэтому не следует размещать склады хранения щепы поблизости от жилых зданий (Центр технологии биомассы, 1999).

Как указывалось выше, гранулированная древесина состоит из прессованных стружки и опилок. При разгрузке, транспортировке и загрузке щепы в топку может возникать повышенная запыленность. При работе с древесным топливом на закрытом складе щепы следует принимать такие меры, как максимальное сокращение времени работы со щепой, общее улучшение условий труда, применение эффективных средств индивидуальной защиты и обеспечение эффективной вентиляции. При этом максимальное сокращение цикла от производства щепы до сжигания щепы в топке также оказывает благоприятное воздействие на условия труда (Центр технологии биомассы, 1999).

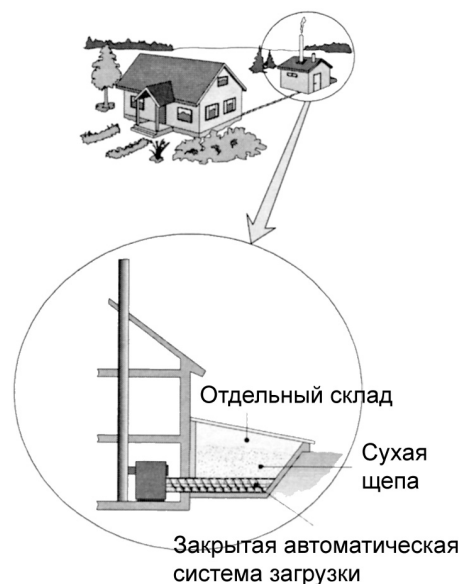


Рис. 9.9. Размещение котельной установки склада древесной щепы (по материалам Lantsbrukshalsan).

В заключение отметим необходимость выполнения следующих рекомендаций по улучшению рабочей среды (Lantsbrukshalsan informerar 1987).

- ◆ При переработке на щепу/дроблении следует использовать максимально сухую древесину.
- ◆ Следует обеспечить эффективную вентиляцию в помещении, где производится щепы.
- ◆ Не следует хранить влажную щепу в течение длительного времени (как правило, не более двух недель). Необходимо подыскать как можно более прохладное место для хранения щепы.
- ◆ После выбора запасов щепы следует очистить пустой склад перед размещением новой партии.
- ◆ Не следует размещать склады щепы вблизи жилых зданий. Котельная должна, где это возможно, размещаться в отдельном здании (рис. 9.9), и в ней по возможности следует поддерживать избыточное давление.

При производстве всех видов работ необходимо использовать средства индивидуальной защиты. Не следует хранить средства индивидуальной защиты и рабочую одежду в котельной или на складе щепы.

Важным вопросом является восстановление леса, который часто возникает при оценке воздействия, например, заготовки лесосечных отходов на лесную среду. Как указывалось ранее, изъятие лесосечных отходов уменьшает выщелачивание питательных веществ. Также снижается эвтрофикация растительного покрова. Это способствует выживанию саженцев и также косвенно сокращает популяцию кротов и нанесение ими ущерба молодым насаждениям. Вместе с тем в бедных питательными веществами сухих лесах лесосечные отходы играют важную роль в процессе первоначального развития молодых деревьев, защищая их от солнца, ветра и мороза (Hakkila 1998, Hakkila and Frederiksson 1996).

Можно также отметить следующие аспекты, относящиеся к удалению лесосечных отходов и их воздействию на процесс регенерации леса, описанные Хаккилой (Hakkila 1998).

- ◆ Подготовка почвы может производиться после заготовки лесосечных отходов, что позволяет экономить время при заложении нового древостоя.
- ◆ Часто обеспечивается более высокое качество подготовки почвы. Имеется больше участков, приемлемых для посадки новых растений или саженцев, улучшающих результаты лесовосстановления.
- ◆ Повышается качество посадочных работ и снижаются издержки.
- ◆ Упрощается механизация посадочных работ.

Другим важным фактором воздействия на окружающую среду, связанным с использованием топливной древесины, является землепользование. Это воздействие может проявляться при эксплуатации так называемых энергетических лесов и насаждений, являющихся источником топливной древесины. Они могут заменять природные экосистемы, которые могли бы использоваться для производства продуктов питания или других целей. Кроме того, "монокультуры" при посадке деревьев одного вида не создают среду обитания для многих других видов животных и растений и в значительной степени подвержены воздействию болезней и вредителей. Это, в свою очередь, может привести к увеличению использования пестицидов на участках этих насаждений несмотря на опасность, которую они представляют для окружающей среды и здоровья людей.

Использование энергии, полученной из древесной биомассы, также оказывает воздействие на условия многофункционального лесопользования и в большинстве случаев оно является положительным. Сама рубка часто рассматривается как процесс, оказывающий негативное воздействие на некоторые элементы экосистемы. Однако заготовка лесосечных отходов, как правило, повышает эстетическую и оздоровительную ценность леса. Это следует иметь в виду при уходе за лесами в густонаселенных районах, у береговых линий и в оздоровительных зонах, где имеется потребность в создании соответствующего ландшафта и обеспечении свободы передвижения.

Заготовка топливной древесины не создает угрозы биоразнообразию и исчезающим видам растений и животных. Как правило, деревья, заготавливаемые в качестве топливной древесины, имеют небольшой диаметр и поэтому быстро разлагаются. В редких случаях заготавливаемая древесина включает листопадные деревья большого диаметра, находящиеся на позднем этапе разложения и являющиеся важной средой обитания для многих исчезающих видов. Кроме того, на типичной лесосеке остается значительное количество лесосечных отходов, так как их заготовка никогда не бывает полной (например, Alkangas et al 1999).

10. ЭКОНОМИКА И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО

10.1 ВВЕДЕНИЕ

В настоящей главе рассматриваются различные аспекты применения энергии, получаемой из древесины. Имеется несколько вариантов организационных форм деятельности по заготовке и использованию топливной древесины (рис. 10.1). Раздел 10.1 содержит две части: описание малых предприятий и структур по производству и использованию топливной древесины и крупных компаний по производству топливной древесины. Финские предприятия и компании представлены в подразделе, посвященном описанию мелких предприятий, а шведские предприятия и компании — в подразделе, содержащем описание крупных компаний.

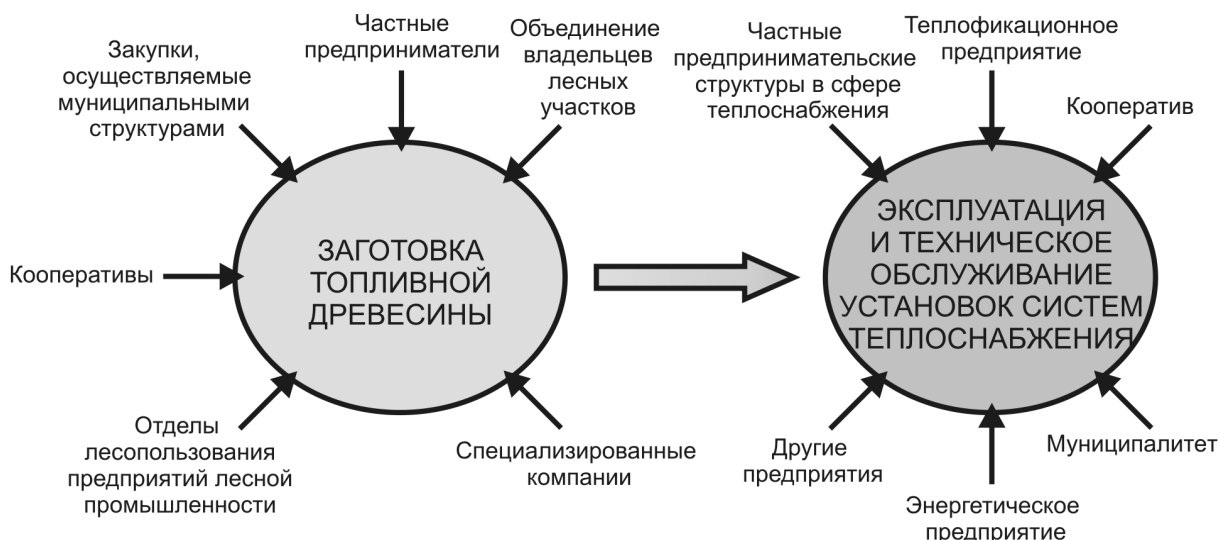


Рис. 10.1. Организационные формы деятельности по заготовке и использованию топливной древесины.

10.2 МАЛЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ И СТРУКТУРЫ

10.2.1 Введение

В этом разделе описываются малые предприятия и структуры, осуществляющие деятельность в области применения энергии древесины, в основном частные предпринимательские структуры в сфере энергетики и теплоснабжения, которые в настоящее время быстро развиваются, например, в Финляндии. Подробно описывается модель деятельности кооператива, которая получила широкое распространение в промышленно развитых странах. Как правило, частная теплофикационная компания осуществляет поставки топлива (в большинстве случаев древесного) и предоставляет рабочую силу, необходимую для эксплуатации и обслуживания систем теплоснабжения зданий в местном населенном пункте. Теплофикационная компания может принадлежать одному фермеру или группе фермеров, владеющих лесными участками, т.е. собственными энергетическими ресурсами. Как правило, частные предприниматели, осуществляющие теплоснабжение, заключают договор с муниципалитетом об эксплуатации и техническом обслуживании систем теплоснабжения зданий. Оплата услуг, оказанных частным предпринимателем или консорциумом, созданным с их участием, производится в зависимости от количества поставленной ими тепловой энергии. Предпринимательская деятельность в энергетической сфере позволяет владельцу частного участка осуществлять сбыт заготавливаемой на участке древесины, что повышает степень использования имеющегося на лесозаготовительной фирме оборудования. Не менее важным результатом является повышение уровня занятости и возможность получения дополнительных доходов, что может иметь важное значение для сельских районов, которые часто страдают от безработицы и где постоянно

сокращается численность населения (Solmio et al. 1995, Ruynanen 1996, Tuomi 1998, Solmio 1998, Jylha 1998, Solmio 1999).

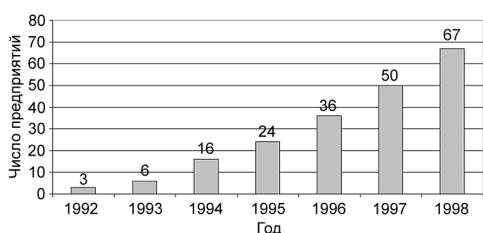


Рис. 10.2. Рост числа частных теплофикационных предприятий в Финляндии в период реализации Программы биоэнергетических исследований с 1993 по 1998 г. (Solmio 1999).

данным Института, в 1993 г. в Финляндии действовали только три теплофикационных предприятия; к концу 1998 г. их число увеличилось до 67 (рис. 10.2). Кроме того, в Финляндии в настоящее время осуществляется проектирование 100 новых предприятий (Solmio 1999).

Большинство котельных установок, обслуживаемых частными теплофикационными предприятиями, были приобретены за счет средств муниципалитетов, четвертая часть – за счет совместного финансирования муниципалитетами и предпринимателями и 20% – за счет средств предпринимателей. В последние годы в Финляндии принимались активные меры по развитию частного предпринимательства в сфере теплоснабжения. В рамках государственной Программы биоэнергетических исследований (1993-1998) выполнен ряд работ и реализованы несколько проектов развития. Например, Институт эффективности труда (TTS) выполнил ряд исследований по изучению деятельности предпринимателей в сфере теплоснабжения за период с 1993 г. По

10.2.2 Типичные теплофикационные предприятия

В Финляндии большинство (около двух третей) действующих теплофикационных предприятий осуществляет теплоснабжение школьных зданий (по данным на конец 1998 г.). Около 20% котельных установок, эксплуатируемых частными теплофикационными предприятиями, составляет оборудование централизованных систем теплоснабжения. В табл. 10.1 представлены данные (на декабрь 1998 г.) по числу и мощности котельных установок с указанием обслуживаемых объектов (Solmio 1999).

Таблица 10.1. Число и мощность котельных установок на различных объектах, эксплуатируемых частными теплофикационными предприятиями, по данным на декабрь 1988 г. В скобках представлены данные на декабрь 1996 г. (Solmio 1999).

Котельная установка/обслуживаемый объект	Число	Суммарная мощность котельных установок, МВт	Различие в мощности отдельных установок, МВт	Средняя мощность котельных установок, МВт
Установки системы централизованного теплоснабжения	13(7)	10,6(7,0)	0,3-2,5	0,82(1,00)
Школы	44(26)	7,7(3,7)	0,06-0,5	0,18(0,14)
Дома для престарелых	4(2)	1,5(0,7)	0,3-0,5	0,38(0,34)
Другие объекты	6(1)	1,6(0,1)	Данные отсутствуют	0,27(0,06)
Всего	67(36)	21,4(11,5)	0,06-2,5	0,32(0,32)

В каждом втором случае одна котельная установка обслуживала одно здание. Количество обслуживаемых зданий школ составляло от одного до пяти, домов для престарелых – от двух до трех, а системы централизованного теплоснабжения обслуживали от трех до шестидесяти зданий. Объем отапливаемых помещений составлял в различных зданиях от 1 500 до 22 000 м³ (Solmio 1999).

Все котельные установки, эксплуатируемые частными теплофикационными предприятиями, использовали в качестве основного топлива древесную щепу. В 1998 г. 67 теплофикационных предприятий израсходовали в общей сложности около 85 100 насыпных м³ топливной щепы. Доля щепы из отходов лесопильных предприятий (лесопильных отходов) и коры, большая часть которых была использована котельными установками на индивидуальных объектах недвижимости,

составила приблизительно 15 000 насыпных м³/год. Среднее количество топливной древесины, сжигаемой в установках централизованных систем теплоснабжения, составило 47 300 насыпных м³, а на индивидуальных объектах недвижимости — 22 800 насыпных м³. Кроме древесного топлива в качестве топлива котельных установок также в малых количествах использовались торф и нетоварное зерно (в общей сложности около 1000 м³/год). В большинстве случаев в качестве вспомогательного источника производства тепла использовалось легкое дистиллятное топливо (Solmio 1999, Solmio 1998b, Tuomi 1998).

Около 50% топливной древесины, сжигаемой в котельных установках, заготавливается на собственных лесных участках предпринимателей, осуществляющих теплоснабжение. В большинстве случаев переработка древесины на щепу производится на собственном оборудовании предпринимателей; в 1998 г. 24% общей потребленной щепы было закуплено у сторонних предприятий. Как правило, подсушивание топлива осуществляется на верхнем складе у магистральной лесовозной дороги в форме долготы или целых деревьев. По сравнению с 1996 г. метод сушки щепы в специальных складских помещениях активно используется только на 20% котельных установок (Solmio 1999).

10.2.3 Организационные формы предпринимательской деятельности в сфере теплоснабжения

Институт TTS выполнил ряд исследований по изучению сферы деятельности теплофикационных предприятий с целью оценки потенциала развития и потребности этой модели теплоснабжения в сельской местности. В этой сфере имеется несколько видов деятельности, которые могут осуществлять предпринимательские структуры. Во многих случаях более целесообразным и экономически эффективным вариантом является замещение новых инвестиций приобретением некоторых видов услуг у сторонних субъектов хозяйствования. Например, если предприниматель не имеет оборудования, необходимого для выполнения лесозаготовительных работ, рациональным решением будет приобретение этих услуг (например, заготовка и транспортировка древесины и переработка ее на щепу) у других предпринимателей (Tuomi 1998, Solmio 1999).

Следующее описание различных видов теплофикационных предприятий основано на данных о ситуации в этой сфере в начале 1999 г. В Финляндии теплофикационные предприятия принадлежат индивидуальным предпринимателям, объединениям предпринимателей, компаниям с ограниченной ответственностью и энергетическим кооперативам (например, Solmio 1999). Данные о числе и мощности котельных установок на теплофикационных предприятиях различных организационно-правовых форм хозяйствования (по данным на декабрь 1998 г.) приведены в табл. 10.2.

Таблица 10.2. Число и мощность котельных установок на теплофикационных предприятиях различных организационно-правовых форм хозяйствования (декабрь 1998 г.). В скобках представлены данные на декабрь 1996 г. (Solmio 1999).

Форма организации	Число	Суммарная мощность котельных установок, МВт	Различие в мощности отдельных установок, МВт
Индивидуальный предприниматель	25 (17)	5,9 (3,3)	0,24 (0,19)
Объединения предпринимателей	21 (10)	4,0 (1,4)	0,19 (0,14)
Компании с ограниченной ответственностью	9 (6)	4,9 (3,9)	0,55 (0,66)
Энергетические кооперативы	12 (3)	6,6 (2,9)	0,55 (0,97)
Всего	67 (36)	21,4 (11,5)	0,32 (0,32)

10.2.3.1 Индивидуальные предприниматели

В сфере индивидуальной предпринимательской деятельности наиболее распространенной формой является заключение договора на поставку тепловой энергии с муниципалитетом или другим заказчиком (покупателем) энергии. В стандартном договоре указывается также резервный поставщик тепловой энергии с целью обеспечения надежности теплоснабжения соответствующего объекта. В 1988 г. большинство частных предпринимателей осуществляли эксплуатацию котельных установок (их мощность составляла от 75 до 570 кВт) в школах. В 1998 г. индивидуальные предприниматели эксплуатировали также ряд котельных установок систем централизованного теплоснабжения суммарной мощностью 500-800 кВт. Каждый второй индивидуальный предприниматель более 50% использованной топливной древесины заготовил на собственном лесном участке (Solmio 1999).

Хонкасало (Honkasalo 1999) рекомендует использовать модель деятельности индивидуального предпринимателя с применением котельных установок малой мощности — от 40 кВт до 300 кВт. Низкие капитальные затраты позволяют беспрепятственно осуществлять ввод в эксплуатацию таких установок (стоимость ее по сравнению с использованием в них нефтяного топлива, как правило, является для фермера приемлемой). Если объект теплоснабжения расположен поблизости, имеется возможность получить дополнительный доход для ведения хозяйства на животноводческой или молочной фермах. Однако с учетом объема выполняемой работы общие доходы от этого вида деятельности являются относительно низкими. Также к характеристикам древесного топлива часто предъявляются жесткие требования, что увеличивает объем работ на этапе его подготовки к сжиганию. Эта деятельность часто не оказывает значительного воздействия на состояние лесного хозяйства, и с точки зрения потребителя (покупателя) тепла имеется некоторая неопределенность, связанная с ритмичностью и непрерывностью поставок этого вида тепловой энергии.

10.2.3.2 Объединения предпринимателей

Вторую по величине группу предпринимателей сферы теплоснабжения составляют объединения предпринимателей. Как правило, при создании таких объединений 2-4 предпринимателя заключают между собой договор о совместном выполнении работ по заготовке топливной древесины, переработке ее на щепу, эксплуатации и техническому обслуживанию котельных установок. Как правило, продолжительность рабочих смен составляет от 3 до 8 недель при мощности котлов от 60 до 500 кВт. На 70% котельных установок основным источником топлива являются собственные ресурсы древесины (более 50%) (Solmio 1999).

Объединение предпринимателей является приемлемым решением при эксплуатации объектов мощностью от 100 до 1000 кВт. Увеличение масштабов работ позволяет улучшить эксплуатационные характеристики котельных установок и распределить обязанности по выполнению различных работ между несколькими исполнителями, а также увеличить общие доходы и повысить воздействие на эффективность процесса ведения лесного хозяйства, особенно если предприниматели осуществляют поставку древесного топлива из собственных хозяйств (Honkasalo 1999).

10.2.3.3 Компании с ограниченной ответственностью

Девять из 67 предприятий имели компании с ограниченной ответственностью. Они были созданы в связи с необходимостью финансирования закупок лесозаготовительного или котельного оборудования и, как правило, помимо деятельности в сфере теплоснабжения, занимались другими видами деятельности — такими, как переработка древесины на щепу, планирование и консультирование в области получения энергии из древесины. Средняя мощность котельных установок, эксплуатируемых этими компаниями (от 0,1 до 2,5 МВт), несколько превышала среднюю мощность оборудования индивидуальных предпринимателей и их объединений. Менее половины компаний использовали собственные древесные ресурсы акционеров, которые составляли более 50% общего количества топлива (Solmio 1999).

10.2.3.4 Энергетические кооперативы

Четвертой моделью деятельности предпринимателей в сфере теплоснабжения является так называемая кооперативная модель, которая все шире используется в настоящее время. В кооператив входят несколько владельцев лесных участков. В Финляндии их число составляет от 4 до 30. Мощность эксплуатируемых кооперативами котельных установок составляет от 0,12 до 1,4 МВт. В большинстве случаев кооперативы поставили основную часть потребленного древесного топлива. В кооперативе возможно гибкое разделение труда, в максимальной степени отвечающее потребностям его членов и обеспечивающее эффективное использование имеющегося оборудования в сочетании с другими производственными ресурсами. Например, большинство входящих в кооператив предпринимателей могут поставлять древесное топливо из своих лесов, а эксплуатация и техническое обслуживание котельного оборудования может осуществляться только несколькими его членами (Solmio 1999).

В этой модели предпринимательской деятельности в сфере теплоснабжения мощность эксплуатируемых котлов составляет от 500 до 5 000 кВт, используются постоянно действующие подрядчики и имеется возможность получения достаточно больших доходов по сравнению с требуемым объемом трудовых затрат. Эта модель также предоставляет хорошие возможности для улучшения местной экономической ситуации и состояния лесного хозяйства. С точки зрения покупателя тепла обеспечиваются достаточно высокая гарантированность и непрерывность поставок тепловой энергии. Однако при эксплуатации крупных котельных установок и в случаях, когда кооператив включает большое число членов, следует уделять повышенное внимание практической организации деятельности кооператива (Honkasalo 1999). Различные члены кооператива могут вносить различный вклад в достижение общих целей. В этом отношении способность кооператива выполнять задачи, которые ставит заказчик, и вклад каждого из его членов в выполнение этих задач являются основными факторами, определяющими успех деятельности всего кооператива. В целом концепция кооперативной деятельности является полезным инструментом развития как населенных пунктов в сельских районах, так и городов.

10.2.4 Необходимые условия предпринимательской деятельности в сфере теплоснабжения

Предпринимательская деятельность в сфере теплоснабжения может быть эффективной только в том случае, если она выгодна для бизнесмена. Перед вводом предприятия в эксплуатацию необходимо выполнить расчет издержек и рентабельности. Институт TTS определяет следующие факторы, оказывающие воздействие на уровень рентабельности (Solmio 1999):

- ◆ цена поставляемой тепловой энергии;
- ◆ требуемые капиталовложения;
- ◆ организация заготовок древесных отходов (приобретение лесозаготовительного оборудования, аренда рубительной машины, использование подрядчиков на этапе переработки древесины на щепу и т.д.);
- ◆ эксплуатационные издержки, связанные с содержанием машин и оборудования;
- ◆ потребность в найме вспомогательного или временного персонала;
- ◆ государственная поддержка и субсидии;
- ◆ налогообложение;
- ◆ условия финансовой деятельности.

Также следует учитывать технические и организационные аспекты (Solmio 1995):

- ◆ осуществление предпринимательской деятельности в сфере теплоснабжения в сочетании с другими видами деятельности (на ферме и т.д.);
- ◆ количество имеющихся запасов древесного топлива;
- ◆ имеющиеся машины и оборудование, их пригодность для использования;
- ◆ знание технологии и опыт в сфере применения систем теплоснабжения, основанных на использовании древесины;
- ◆ расстояние до обслуживаемого объекта теплоснабжения;
- ◆ временные ресурсы и потребность во вспомогательном персонале;

- ♦ требования к качеству древесного топлива и их воздействие на процессы заготовки, переработки на щепу, сушки древесного топлива;
- ♦ резервные рабочие;
- ♦ возможности для расширения и развития производственной деятельности.

На этапе планирования нового теплофикационного предприятия необходимо проработать следующие вопросы (Solmio et al. 1995):

- ♦ преобразование существующей котельной установки (возраст которой обычно составляет 20 и более лет) в установку, работающую на древесном топливе: технология, капиталовложения, согласования;
- ♦ заготовка топлива: варианты технологических процессов по заготовке топлива, лесозаготовительное оборудование;
- ♦ эксплуатация и техническое обслуживание котельных установок;
- ♦ расчет издержек и рентабельности;
- ♦ государственные субсидии и иные виды поддержки;
- ♦ налогообложение.

На рис. 10.3 предложена схема формирования оборота финансовых средств в сфере теплоснабжения с учетом совокупности факторов (стоимости леса на корню, заготовительных издержек, затрат на погрузочно-разгрузочные работы, расходов, связанных с эксплуатацией и техническим обслуживанием оборудования и предоставлением услуг и т.д.). Следует учесть, что в эту схему не включены затраты на оборудование и содержание объектов, а также компенсации за ремонтные работы, выполняемые предпринимателем. На рис. 10.3 представлена упрощенная схема объемов работ, выполняемых предпринимателем, в которой не представляется возможным отразить все существующие и будущие формы современной предпринимательской деятельности в сфере теплоснабжения.

Институт TTS выполнил исследование по оценке издержек и рентабельности деятельности предпринимателей в сфере теплоснабжения (Solmio 1999a). Уровень прибыли предприятий, осуществляющих теплоснабжение, составил 12,27-22,18 Евро/ч (без учета выплаты процентов по кредиту на приобретение оборудования, включая сельскохозяйственный трактор и вспомогательное оборудование, страховых выплат и затрат на хранение). С учетом этих издержек уровень прибыли составил 11,93-21,00 Евро/ч (табл. 10.3).

Наиболее важными необходимыми условиями деятельности предпринимателей в сфере теплоснабжения являются, с одной стороны, надежные и ритмичные поставки тепловой энергии, с другой — экономически обоснованный уровень рентабельности данного производства. Во многих случаях организация производства энергии требует капиталовложений. Поэтому обе стороны должны быть готовы к заключению долгосрочных контрактов на теплоснабжение.

При оценке условий теплоснабжения, осуществляемого предпринимателями, заказчики должны учитывать следующие аспекты (Solmio et al. 1995):

- ♦ необходимые капиталовложения и варианты финансирования;
- ♦ прибыльность капиталовложений по сравнению с использованием конкурентных форм теплоснабжения;
- ♦ государственная поддержка капиталовложений;
- ♦ потребление энергии объектом, а также имеющиеся запасы требуемого древесного топлива;
- ♦ наличие приемлемых предпринимателей;
- ♦ техническая целесообразность.

С точки зрения муниципалитета преимущества осуществляемого предпринимателями теплоснабжения, основанного на использовании древесного топлива, состоят в увеличении использования местных рабочей силы и сырья, улучшении состояния лесного хозяйства, обеспечении надежного теплоснабжения и экономии затрат. Важным фактором является также и то, что средства, которые тратились ранее на закупку мазута, теперь остаются в муниципалитете, способствуя развитию местной экономики и повышая налоговые поступления в местный бюджет (Tuomi 1998).

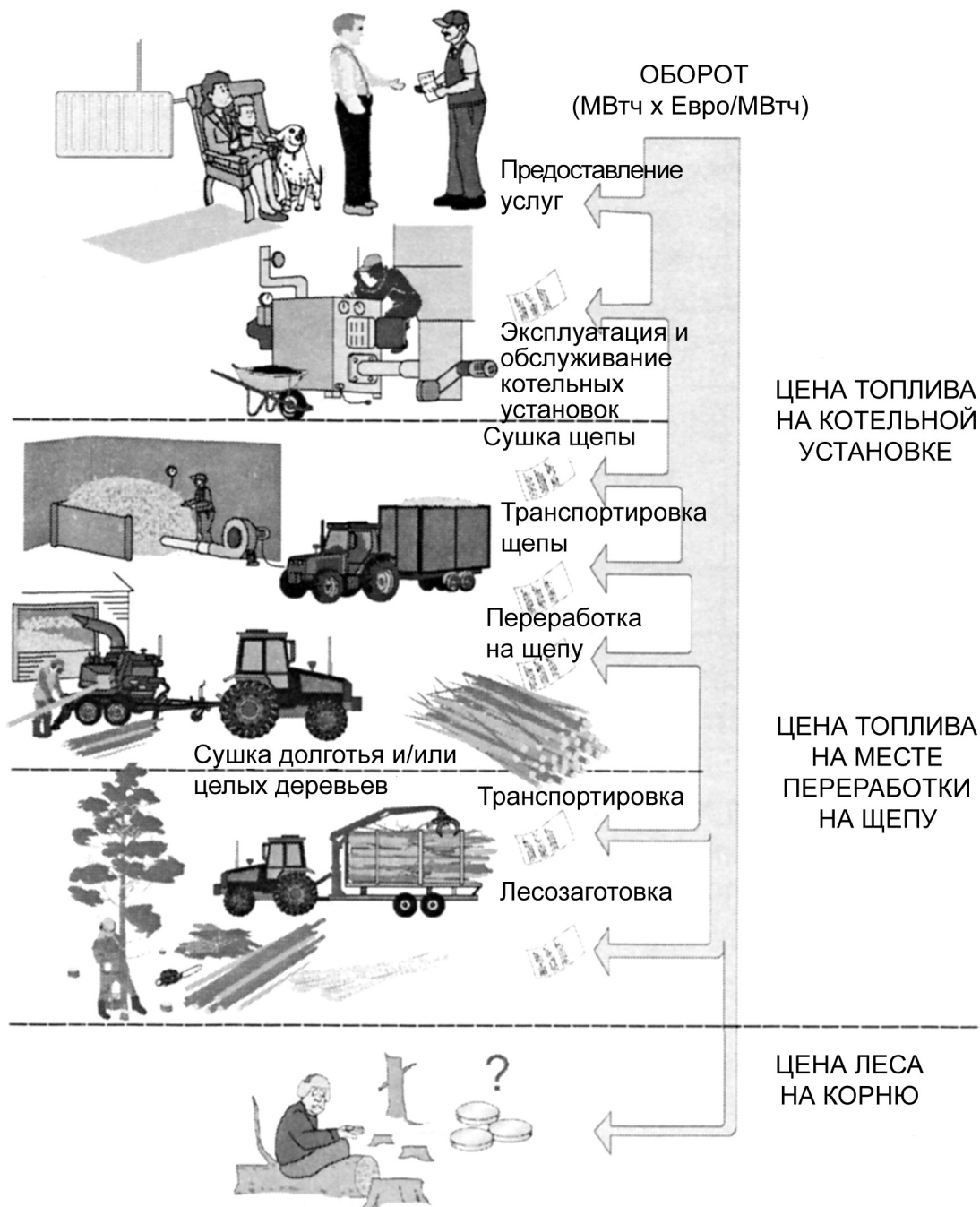


Рис. 10.3. Формирование оборота финансовых средств в сфере теплоснабжения (иллюстрация из работы Solmio et al. 1995, Институт TTS).

Таблица 10.3. Валовая прибыль предприятий, осуществляющих теплоснабжение, в исследованных случаях (Solmio 1998). 1. Расчет уровня прибыли А (не учитывает капиталовложения, выплаты по процентам, страховые выплаты и затраты на хранение, связанные с приобретением и эксплуатацией сельскохозяйственного трактора). 2. Расчет уровня прибыли Б (учитывает перечисленные выше затраты). В расчет не включен НДС. Расчет валовой прибыли включает заработную плату при продолжительности рабочей смены 24 часа и риски производителя.

	Объект 1	Объект 2	Объект 3	Объект 4	Объект 5	Объект 6	Объект 7
Мощность котла, кВт	60	93	150	300	370	80	300
Сырье для топливной щепы	Долготье и лесопильные отходы	Долготье	Долготье	Долготье и целые деревья	Долготье и целые деревья	Лесопильные отходы	Долготье и лесопильные отходы
Форма организации предпринимательской деятельности в сфере теплоснабжения	Объединение предпринимателей	Индивидуальный предприниматель	Индивидуальный предприниматель	Объединение предпринимателей	Индивидуальный предприниматель	Объединение предпринимателей	Объединение предпринимателей
Доход, евро	3225	3696	7674	14202	3331	15718	9462
Издержки, евро	971	960	3373	7516	2040	10190	2664
Общий объем, евро	2254	2736	4301	6686	1291	5528	6798
Валовая прибыль А, евро/ч	16,74	13,45	18,66	15,80	22,01	12,27	22,18
Валовая прибыль Б, евро/ч	15,63	12,60	17,48	14,96	21,34	11,93	21,00

10.3 КРУПНЫЕ КОМПАНИИ

В Швеции деятельность в сфере производства энергии из древесины осуществляется в основном крупными компаниями — такими, как Ваттенфалл АВ, СидКрафт АВ и Гранингеверкен АВ. При написании настоящей главы использовалась информация, содержащаяся на вебсайте компании Ваттенфалл (www.vattenfall.se).

В Финляндии такие крупные компании, как ВАПО Энержи и Биоватти, осуществляют свою деятельность исключительно в секторе биоэнергетики. Многие лесохозяйственные компании также стремятся к самообеспечению в сфере использования энергии древесины в отношении как поставок топлива, так и производства энергии.

Задачей крупных теплофикационных предприятий и компаний является, как правило, создание конкурентной среды и обеспечение высокого качества жизни своих заказчиков, применяя эффективные методы теплоснабжения и оказывая необходимые услуги.

10.3.1 Использование подрядчиков (аутсорсинг) для частичного или полного выполнения работ

Крупные компании часто разрабатывают различные решения, позволяющие использовать другие фирмы для строительства и эксплуатации энергетических объектов, которые берут на себя ответственность за эксплуатацию и техническое обслуживание объектов, финансирование их строительства, например систем теплоснабжения и искусственного климата, холодоснабжения и подачи сжатого воздуха, электротехнических систем и систем энергоснабжения. В этом случае заказчику предоставляются услуги, позволяющие обеспечить высоконадежную и безопасную работу оборудования, более эффективное использование энергии, времени и персонала.

При дополнительных (повторных и новых) инвестициях теплофикационная компания оказывает помощь в осуществлении проектировочных работ и планировании, позволяя заказчику получить объекты требуемой мощности. Предприниматель, осуществляющий теплоснабжение, также занимается продажей тепла через системы централизованного теплоснабжения, использующие все виды топлива и повышающие качество среды существования местного населения, компаний и района в целом.

10.3.2 Обслуживание, качество и безопасность

Эффективная эксплуатация и техническое обслуживание энергетических объектов, а также обеспечение бесперебойных поставок электроэнергии являются необходимыми условиями осуществления всех видов деятельности. Перебои в энергоснабжении и остановки работы оборудования могут наносить значительный материальный ущерб. Теплофикационная компания, обладающая необходимыми экспертными знаниями, осуществляет эксплуатацию и техническое обслуживание оборудования и планирование деятельности с использованием эффективных методов, обеспечивая бесперебойную работу предприятия заказчика в случае нарушения энергоснабжения. Например, в случае нарушения электроснабжения она может обеспечить доступ компаний и муниципальных структур к размещенным в различных точках резервным источникам питания. Она может обеспечить эксплуатацию и обслуживание, а также контроль готовности к работе передвижных электростанций.

Энергетическая компания также осуществляет оценку работоспособности системы электроснабжения заказчика и предлагает рекомендации по снижению риска перебоев в системе электроснабжения. Выполняется определение степени уязвимости объекта к перебоям, предлагаются рекомендации по изменению параметров объекта в соответствии с потребностями заказчика. С целью минимизации риска перебоев и остановок работы оборудования осуществляется контроль за работой и техническое обслуживание всех видов электротехнического оборудования.

10.3.3 Договоры, закупки и управление

Одним из наиболее легких методов, с помощью которых заказчик может обеспечить контроль над ценами в будущем, является подписание договора о фиксированных ценах на поставки электроэнергии. Однако рынок электроэнергии позволяет заказчику также принять участие в "игре". Заказчик может принимать активное участие в рыночной деятельности, оказывая влияние на цену электроэнергии. Операция "покупка электричества" во многом осуществляется таким же образом, как и другие коммерческие сделки, позволяя получить экономическую прибыль. Несмотря на наличие таких возможностей большинство компаний не имеют ни знаний, ни средств для того, чтобы ими воспользоваться. Поэтому некоторые крупные компании разработали систему договоров и административных мер, позволяющих всем компаниям использовать экономические возможности, предоставляемые на энергетическом рынке.

Имеются различные варианты формирования цен на электроэнергию: например, среднегодовая цена на электроэнергетическом рынке зависит от квартальных цен, а общий индекс цен определяется по среднему значению. Цена на электроэнергию также может зависеть от доли потребления. Крупные энергетические компании предлагают электроэнергетические продукты, соответствующие структуре затрат или доходов заказчиков. Часть цены на электроэнергию соответствует цене, стоимости или индексу сырьевых материалов, играющих важную роль в деятельности заказчика. Энергетическая компания может взять на себя полную ответственность за закупку всей требуемой электроэнергии и помочь заказчику определить обоснованную стратегию и политику по предотвращению рисков, которые будут служить основой для принятия решений при осуществлении закупок. Таким образом, такие компании могут оказывать весь спектр услуг и осуществлять закупки в соответствии с согласованной политикой по предотвращению рисков.

Предоставляемые услуги предусматривают использование системы связи, основанной на сети Интернет, которая осуществляет контроль за потреблением энергии в различных зданиях в час, день, сутки, неделю, месяц и год. Также используется электронная компьютерная система выписки счетов, которая соединена с компьютерными системами теплофикационной компании и заказчика, осуществляющая автоматический контроль согласованного, ограниченного и действительного объема потребления электроэнергии.

10.3.4 Эффективное использование энергии

Многие крупные энергетические компании разработали ряд продуктов и услуг, обеспечивающих эффективное использование энергии. Они имеют большой потенциал эффективного использования энергии, который может обеспечить значительную экономию средств и повысить уровень защиты

окружающей среды. Иногда для этих целей можно использовать имеющееся оборудование с применением новых и усовершенствованных методов, однако в некоторых случаях требуется установка нового оборудования.

Некоторые теплофикационные компании используют системы контроля, осуществляющие замеры и генерирующие показания величины потребленной электроэнергии и теплоты, потоков, рабочего времени, температуры, и распределяют стоимость потребленной энергии между различными объектами. Система контролирует использование энергии и доступа к данным статистики потребления. Подрядчику также предлагается заключение гарантийного договора, который обеспечивает гарантированную экономию энергии, потребляемой заказчиком. Также имеются системы, осуществляющие контроль параметров микроклимата в помещении, которые обеспечивают экономию энергии, а также эффективное ее потребление в будущем.

10.3.5 Продукты

Как правило, потребители могут выбрать метод производства поставляемой им электроэнергии. Например, они могут выбрать гидроэнергию или ветровую энергию. Крупные компании также предлагают заключение различных договоров, например договора с твердой ценой по тарифу ниже стандартного с правом перехода на более низкий тариф. Возможно заключение договора с оплатой по гибкому ограниченному тарифу. Также имеется ряд продуктов, предназначенных для отдельных заказчиков, обеспечивающих эффективное и надежное энергоснабжение.

10.3.6 Консультационная деятельность



Рис. 10.4. Установка комбинированного производства тепловой и электрической энергии в Нассио (Швеция) (источник: www.wattenfall.se).

Шведские крупные теплофикационные компании оказывают консультационные услуги по вопросам использования энергии и энергетической инфраструктуры как в Швеции, так и на международном уровне. Консультационные услуги в таких областях, как использование гидроэнергии, методы производства тепловой и электрической энергии, комбинированное производство тепловой и электрической энергии, техника безопасности и охрана окружающей среды, составляют большую часть оказываемых услуг. Консультационная деятельность включает следующие услуги:

- ◆ управление проектами и получение разрешений;
- ◆ ввод в эксплуатацию объектов;
- ◆ услуги по вопросам использования гидроэнергии, инфраструктуры, подземных сооружений, техники безопасности и охраны окружающей среды;
- ◆ услуги, оказываемые в границах расположения энергетической системы (от первоначальных исследований при строительстве сетей до создания законченных сетей);
- ◆ международные консультационные услуги по методам передачи и распределения энергии, использованию гидроэнергии, теплоснабжению, ядерной энергии,

использованию энергии в домашних хозяйствах, а также по вопросам образования и организации деятельности.

10.3.7 Пример использования древесины на крупном предприятии

На установке комбинированного производства тепловой и электрической энергии в Нассио (Швеция) (рис. 10.4), принадлежащей одной из крупнейших шведских энергетических компаний, в течение нескольких лет используется полный цикл производства энергии с применением древесного топлива — от погрузочно-разгрузочных работ и сжигания топлива до утилизации золы в лесу. Установка, которая производит как тепло, так и электричество, построенная в 1991 г. с целью использования местного топлива, является первой в стране установкой совместного производства тепловой и электрической энергии.

Сжигание топлива осуществляется в циркулирующем псевдосжиженном слое (см. раздел 6.2.3). С 1995 г. в качестве топлива используется только биотопливо, которое состоит из лесосечных отходов или побочных продуктов производства лесопильных предприятий, расположенных в районе Нассио.

Так как влажность используемого топлива составляет 50%, установка оборудована устройством конденсации отходящих газов, что позволяет использовать содержащееся во влажных отходящих газах тепло в сети централизованного теплоснабжения. Зола, образующаяся при сжигании биотоплива, утилизируется в лесу, что завершает цикл производства энергии.

11. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

11.1 ПРЕДЫСТОРИЯ

Европейский Союз принял три стратегических решения, определяющих политику развития рынка биотоплива в Европе.

- ♦ В Белой книге по возобновляемым источникам энергии Европейского Союза (ноябрь 1997) указывается, что доля возобновляемых источников энергии возрастет с 6% в 1990 г. до 12% к 2010 г.
- ♦ На конференции ООН по изменению климата, состоявшейся в декабре 1997 г. в Киото (Япония), было принято решение о снижении странами ЕС выбросов CO₂ до 2008-2012 гг. на 8% по сравнению с уровнем 1990 г.
- ♦ Европейский Союз также принял решение об увеличении импорта энергетических ресурсов.

В 1996 г. шведское правительство поставило задачу превращения Швеции "в международную движущую и ведущую силу в усилиях по обеспечению экологически устойчивого развития". С целью предотвращения угрозы загрязнения окружающей среды и истощения природных ресурсов шведское правительство определило три цели экологически устойчивого развития: охрана окружающей среды, эффективное использование ресурсов и обеспечение запаса потребляемых ресурсов на долговременный период.

По мере возможности потребление должно быть основано на использовании возобновляемых ресурсов. Это означает, что в долговременной перспективе темпы использования таких ресурсов не должны превышать скорость, с которой природа создает новые ресурсы, кроме того, необходимо обеспечить утилизацию потребляемых ресурсов. Необходимо экономно использовать ресурсы и постоянно искать возможности замены невозобновляемых ресурсов возобновляемыми.

В 1997 г. парламент Швеции утвердил программу энергетического развития, в которой ставится долговременная цель создания экологически устойчивой энергетической системы. Новый государственный орган – Национальное управление по вопросам энергетики Швеции – осуществляет реализацию комплексной программы, целью которой является сокращение потребления электроэнергии, постепенный отказ от использования ядерной энергии и снижение выбросов двуокиси углерода. Для достижения этой цели необходимо обеспечить более эффективное использование электроэнергии на местном и региональном уровнях. Необходимо также сокращать потребление нефти и электроэнергии, используемых для выработки тепловой энергии, заменяя их источниками биоэнергии, а также обеспечить разработку соответствующего оборудования и создание новой инфраструктуры.

11.2 ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОЙ СИТУАЦИИ В ШВЕЦИИ

Использование биотоплива стало увеличиваться в 1980-е гг. В настоящее время количество энергии, вырабатываемой с применением биотоплива, составляет пятую часть общего объема энергии, потребляемой в Швеции. Вместе с тем третья часть всего используемого топлива импортируется из других стран, а половина всей электроэнергии вырабатывается с применением импортируемого урана. Швеция находится в выгодном положении, так как в стране имеются возможности для собственного производства большей части требуемого количества энергии. В прошлом столетии более чем вдвое увеличились лесные запасы. В настоящее время мы используем только незначительную часть имеющихся природных ресурсов, которые могли бы эффективно применяться для производства энергии. В 1986 г. 87 ТВт были выработаны с использованием различных видов биотоплива, из которых 76 ТВт произведены с применением древесины, а остальная часть – с использованием черного щелока, поставленного предприятиями лесной промышленности. Ежегодно с использованием биотоплива производится на 3-4 ТВт больше энергии по сравнению с предшествующим годом, что соответствует количеству тепловой энергии, достаточному для теплоснабжения 15 000 домов малой площади.

Централизованное теплоснабжение. До настоящего времени биотопливо использовалось в основном для котельных установок систем теплоснабжения в муниципалитетах, осознавших преимущества биоэнергии. За последние пять лет количество древесины, используемой в качестве топлива в централизованных системах теплоснабжения, увеличилось втрое, и в 1996 г. 43%, или 23 ТВт, тепловой энергии, вырабатывавшейся централизованными системами теплоснабжения, производилось с использованием биотоплива.

Дома малой площади. Владельцы домов малой площади могут получить значительные выгоды от перехода с мазута или электроэнергии, используемых в системах отопления, на биотопливо, которое значительно снижает затраты на отопление, так как капиталовложения обычно окупаются в течение нескольких лет. Постоянно увеличивается использование вторичного древесного топлива, с использованием которого вырабатывается 12 МВт тепловой энергии, потребляемой в Швеции домами малой площади. Однако наиболее значительный потенциал увеличения использования древесного топлива составляет замена мазута и электричества гранулированной древесиной. В 1998 г. только 8000 домов малой площади отапливались с использованием гранулированной древесины. Однако по оценкам экспертов их число должно значительно увеличиться — до уровня потребления 20-25 МВт·ч, включая использование древесины.

Местные системы теплоснабжения. В Швеции более половины многоквартирных домов и общественных зданий используют системы централизованного теплоснабжения, которые вместе с местными сетями теплоснабжения, поставляющими тепло меньшему числу потребителей, имеют потенциал замены мазута и электроэнергии биотопливом для производства 20-25 ТВт тепловой энергии.

Производство электроэнергии. В настоящее время производство электроэнергии установками комбинированного производства тепловой и электрической энергии составляет 3 ТВт при потенциале 40 ТВт. Одним из факторов, препятствующих расширению муниципальных систем, использующих этот вид энергии, является то, что ископаемое топливо, применяемое для производства электроэнергии, не облагается углеродным налогом.

Облагороженное биотопливо. Швеция имеет достаточно уникальный опыт производства и использования гранулированной древесины. Гранулированную древесину, представляющую собой подвергшееся обработке (облагораживанию) биотопливо, начали производить в Швеции в начале 1980-х гг. Продолжавшееся в течение двадцати лет развитие технологии производства и методов применения гранулированной древесины привело к созданию высокоэкологичного топлива, которое может использоваться как в отдельных домах, так и в системах централизованного теплоснабжения. Гранулированная древесина наиболее пригодна для использования в густонаселенных районах, в которых существуют жесткие требования по охране окружающей среды. Гранулированная древесина, обладающая высокой энергетической плотностью, может доставляться в районы с высоким уровнем потребности в биотопливе из районов страны, имеющих наибольшие биоэнергетические ресурсы.

В настоящее время существующие в Швеции производственные мощности позволяют производить 1 млн. т гранулированной древесины в год на 25 предприятиях по производству древесных гранул. Это означает, что Швеция занимает ведущее место в мире по производству гранулированной древесины, находясь по этому показателю практически на одном уровне с США. С тем, чтобы превратить гранулированную древесину в один из основных в Европе видов топлива, необходимо продолжить разработку технологии его производства в пределах производственного цикла от лесозаготовок до конечного потребителя и в обратном направлении до утилизации в лесу.

11.3 РАЗВИТИЕ СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ БИОМАССЫ В ШВЕЦИИ

Более половины земель Швеции покрыты лесами. За последнее столетие объем леса на корню увеличился почти вдвое. Какое количество топлива мы можем произвести в начале этого столетия? Имеется общая оценка потенциальных объемов древесного топлива, однако сколько леса имеется в

действительности? Ответ на этот вопрос обуславливается экономическими расчетами, а также количеством возвращаемой в лес золы.

Запасы биомассы. По поручению энергетической комиссии Отдел изучения леса, промышленности и рынка (SIMS) Шведского университета сельскохозяйственных наук выполнил детальный расчет запасов биомассы. К числу факторов, оказывающих воздействие на количество имеющейся биомассы, относятся спрос на лесопroduкцию и топливную древесину, требования, предъявляемые к круглым лесоматериалам, рубкам, лесосечным отходам, росту леса и экологическим условиям. При расчете с учетом положений "Закона о лесе" и рекомендаций Совета по лесному хозяйству относительно мер по охране окружающей среды общий объем имеющейся топливной древесины составляет около 130 ТВт/год. Расчет предусматривает возврат в лес питательных веществ, изъятых вместе с древесным топливом, а также меры по удобрению почвы.

По данным расчета, выполненного Шведской федерацией владельцев лесов, к 2020 г. производство энергии из древесного топлива возрастет до 30 ТВт·ч при условии утилизации золы.

По прогнозу Ассоциации лесопромышленных предприятий Швеции в начале 21-го столетия из лесосечных отходов будет получено 15-120 ТВт энергии.

Результаты исследования, проведенного Национальным советом по промышленному и техническому развитию совместно с Советом по лесному хозяйству, показывают, что общее количество энергии, которое будет получено из заготовленной в лесах Швеции топливной древесины, может составить 20-25 ТВт.

По оценке SVEBIO (Шведской энергетической ассоциации), которая использует данные отчета SIMS в своем энергетическом сценарии с некоторыми оговорками, топливная древесина, заготовленная в шведских лесах, позволит получить 120 ТВт энергии.

Эти цифры свидетельствуют о наличии значительного потенциала для дальнейшего развития как с точки зрения повышения уровня охраны окружающей среды и наличия биотоплива, так и в связи с достаточно низкой стоимостью использования биотоплива. Цена на древесное топливо оставалась практически неизменной в течение 10 лет. Стоимость количества теплоты, соответствующего 1 кВт·ч, произведенному из древесного топлива, составляет только половину стоимости теплоты, выработанной из угля, и менее половины стоимости теплоты, произведенной из нефти. Это различие обусловлено тем, что при использовании ископаемых видов топлива потребителям необходимо уплатить соответствующие налоги и экологические сборы, взимаемые в качестве компенсации за нагрузку на окружающую среду.

Развитие этой сферы требует решения ряда проблем. Эффективность системы можно повысить, освоив применение круглой древесины в качестве топлива. Необходимо далее развивать технологию и логистику. В процессе осуществления этой деятельности будут снижаться операционные издержки. В настоящее время мы находимся только на начальном этапе развития.

Новые технологии. Развитие методов заготовки древесного топлива в низкополлотном древесостое называют революцией и прорывом в технологии рубок промежуточного пользования (очистки). Одним из примеров такой технологии является валка леса с применением валочной головки, способной производить одновременную валку 5-10 деревьев. Другой пример новых методов, разрабатываемых в процессе технологического развития, — пакетирование лесосечных отходов, когда связки ветвей и вершин упаковываются в сетки, транспортируемые грузовыми автомобилями. Этот метод позволяет перевозить в три раза больше древесного топлива по сравнению с транспортировкой лесоматериалов в неупакованном виде. Эти примеры можно было бы дополнить новыми разработками — такими, как создание передвижных установок переработки (облагораживания) биотоплива у источников древесного топлива.

Налоги и нормы. Однако развитие производства и применения древесного топлива зависит не только от совершенствования и развития новых технологий. Важное значение имеет также принятие политических решений по введению налогов и сборов. Введение налогов и сборов за выбросы двуокси углерода и двуокси серы оказало благоприятное воздействие на развитие области применения древесного топлива. И напротив, принятие положения о налоговом регулировании комбинированного производства тепловой и электрической энергии оказало негативное воздействие на рынок древесного топлива. Установки комбинированного производства тепловой и электрической

энергии вырабатывают как тепло, так и электроэнергию. Однако производство электроэнергии этими установками не облагается налогом на выбросы двуокси углерода, что отрицательно сказывается на использовании биотоплива, полученного в основном из древесной биомассы.

Создание новых рабочих мест. Высокомеханизированный процесс заготовки древесного топлива создает 120 рабочих мест в год на каждый произведенный ТВт·ч. Процесс заготовки древесного топлива с использованием традиционных средств механизации позволяет создавать 400 новых рабочих мест в год. Увеличение числа рабочих в мест в одном секторе приводит к увеличению числа рабочих мест в смежных секторах. Только по этой причине правительство должно принимать меры, направленные на поощрение перехода энергетической системы на возобновляемые источники энергии.

Швеция может получить значительные преимущества, перепрофилировав энергетические установки на широкомасштабное использование биотоплива. Большую часть цены биотоплива составляют затраты на рабочую силу и эксплуатацию техники, являющиеся источником значительных налоговых поступлений. Создавая рабочие места, общество получает финансовые средства за счет уплаты налогов на предпринимательские фонды заработной платы. Расчеты показывают, что каждый вырабатываемый и новый ТВт·ч может ежегодно приносить обществу дополнительный доход в размере 65 млн. шведских крон. В местах заготовки древесное топливо возобновляется в круговороте бесконечного биологического цикла. Для достижения этих целей необходимо предпринять соответствующие усилия. Увеличение объемов заготовок биотоплива может создавать рабочие места в лесной промышленности там, где ранее повышение уровня механизации лесосечных работ приводило к безработице. По прогнозу SVEBIO при развитии рынка биотоплива в течение нескольких последующих десятилетий могут быть созданы 20 000 новых рабочих мест. Развитие производства оборудования для сжигания древесного топлива может дополнительно создать около 8 000 рабочих мест. Для сравнения можно отметить, что в настоящее время в лесной промышленности занято 100 000 человек.

Маркетинг. В заключение следует рассмотреть один из наиболее важных аспектов развития сферы применения биомассы — обеспечение эффективных рыночных условий перехода с нефти и электричества на древесную биомассу. Важно обеспечить энергоснабжение всех потребителей, повысить эффективность использования энергии, улучшить охрану окружающей среды, развитие рынка в масштабе всей страны и на местном уровне и т.д. В последние годы теплоснабжение многоквартирных жилых зданий и домов малой площади осуществлялось за счет использования нефтяного топлива и электричества. В настоящее время нефтяное топливо и электроэнергия используются в системах теплоснабжения более 1 млн. многоквартирных жилых зданий и домов малой площади, что не обеспечивает решение проблемы устойчивого теплоснабжения в долгосрочной перспективе. В будущем функционирование энергетической системы должно быть адаптировано к биологическому циклу. В настоящее время наиболее значительный потенциал изменения системы теплоснабжения домов малой площади составляет использование облагороженного древесного топлива — такого, как древесные гранулы и брикеты. Замена топки с мазутной горелкой на топку, работающую на древесном топливе, или электрической системы отопления на печь с сжиганием гранулированной древесины является чрезвычайно выгодным вложением финансовых средств. Древесные брикеты могут использоваться таким же образом, как и древесина. Местное топливо, имеющее стабильную прогнозируемую цену в обозримом будущем, станет для потребителя надежным источником энергии. Чтобы достигнуть целей, поставленных в Белой книге, те, кто работает в сфере биоэнергии, должны обеспечить эффективные рыночные условия перехода на биотопливо и предпринять необходимые усилия по стимулированию общества к проведению более устойчивой энергетической политики с использованием возобновляемых источников энергии.

11.4 ПЛАН ДЕЙСТВИЙ ПО РАЗВИТИЮ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ФИНЛЯНДИИ

При написании раздела 11.4 использовались данные "Отчета об оценке современной ситуации", подготовленного Хейлинемом и др. (Heylinen et al.) в рамках разработки плана действий по развитию возобновляемых источников энергии.

"План действий по развитию возобновляемых источников энергии", подготовленный Министерством торговли и промышленности Швеции, был принят в октябре 1999 г. В двух отдельных исследованиях, проведенных институтом VTT Энержи, была выполнена оценка современного состояния возобновляемых источников энергии, возможностей увеличения их использования и повышения конкурентоспособности. Исследования содержат описание исходных данных, краевых условий и ограничений, на основе которых были определены целевые показатели увеличения использования возобновляемых источников энергии на период до 2010 г. и представлены перспективы развития отрасли до 2025 г. Также выполнена оценка мер по достижению целевых показателей и их воздействия на развитие национальной экономики. Во втором исследовании, посвященном изучению экологических аспектов, представлено описание факторов воздействия на окружающую среду.

План действий предусматривает увеличение использования возобновляемых энергетических ресурсов не менее чем на 50% (3 млн. т в пересчете на нефть) к 2010 г. по сравнению с уровнем 1995 г. (табл. 11.1). Предполагается, что на 90% это увеличение будет достигнуто за счет использования биоэнергии, на 3% за счет ветровой энергии, на 3% за счет гидроэнергии, на 4% за счет тепловых насосов и на 0,5% за счет солнечной энергии. Целевые показатели включают повышение на 5-6% доли возобновляемых источников энергии в общем объеме потребляемой энергии по сравнению с уровнем 1995 г. Выполнение поставленных задач потребует внедрения новых технологий в сжатые сроки.

Целевые показатели развития биоэнергетики отнесены к различным областям применения, в рамках которых выбор различных видов биотоплива осуществляется на основе их конкурентоспособности. По имеющимся оценкам дополнительное количество древесного топлива, которое будет получено в лесной промышленности, составит: лесного древесного топлива — 0-1,4 млн. т (в пересчете на нефть), отходов — 0,7-0,9 млн. т (в пересчете на нефть), сельскохозяйственной биомассы — 0,1-0,5 млн. т (в пересчете на нефть) в зависимости от уровня производства лесной промышленности и цен на различные виды топлива. Общий целевой показатель по использованию биотоплива составляет 1,4-5,0 миллионов тонн (в пересчете на нефть), включая 50% промышленных древесных отходов, 30% древесного топлива и 20% топлива из утилизируемых отходов.

Доля возобновляемых источников энергии в общем объеме производства возрастет до 8,3 ТВт (2010 МВт) по сравнению с уровнем 1995 г. (табл. 11.2) при условии, что потребление энергии будет развиваться в соответствии со сценарием, который был представлен Министерством торговли и промышленности Финляндии осенью 1998 г. Большую часть этого количества (75%) составит энергия, выработанная из биотоплива (6,2 ТВт, 1050 МВт). Доля биоэнергии в дополнительно произведенном количестве энергии составляет более 70% и в прогнозе на период до 2025 г., когда в комбинированном производстве тепловой и электрической энергии будут широко применяться новые технологии с высоким значением отношения электроэнергия/теплота.

Увеличение использования возобновляемых источников энергии снизит выбросы парниковых газов при замещении ископаемого топлива и торфа. Достижение целевых показателей позволит снизить уровень выбросов парниковых газов на 3,6-7,7 млн. т (в пересчете на CO₂) при реализации планируемых мер по снижению уровня выбросов. В общем объеме снижения выбросов парниковых газов 1,0-1,9 млн. т (в пересчете на CO₂) составят выбросы метана и остальное количество — выбросы двуокси углерода при производстве энергии. Согласно расчетам, в период с 1995 по 2010 г. дополнительное использование возобновляемых источников энергии может обеспечить снижение выбросов на 10 млн. т (в пересчете на CO₂). Это значение показывает, насколько выше будет уровень выбросов в Финляндии, если будет выполнен указанный в плане действий целевой показатель, составляющий 3 млн. т условного топлива (в пересчете на нефть).

Выполнение показателей, определенных в "Плане действий", будет зависеть от конкурентоспособности различных видов лесопродукции на будущем рынке. Конкурентоспособность в значительной степени зависит от результатов развития отрасли и налогообложения в энергетической сфере в Финляндии и в Европейском Союзе, а также от развития производственной структуры и объемов производства предприятий лесной промышленности Финляндии.

Таблица 11.1. Целевые показатели по использованию возобновляемых энергетических ресурсов Финляндии до 2010 г. и прогнозные показатели на период до 2025 г.

	Год, млн. т (в пересчете на нефть)			Увеличение использования ВИЭ в период с 1995 по 2010 г.		Прогнозные показатели увеличения в период с 1995 по 2025 г.	
	1990	1995	1997	Млн. т (в пересчете на нефть)	%	Млн. т (в пересчете на нефть)	%
БИОЭНЕРГИЯ							
Промышленность	2,87	3,72	4,31	1,5	40%	3	80%
Централизованное теплоснабжение	0,08	0,19	0,28	0,8	в 4 раза	1,5	в 8 раз
Дрова (домашние хозяйства)	1,07	1,07	1,12	0,5	45%	0,75	70%
ГИДРОЭНЕРГИЯ	0,92**	1,10**	1,03**	0,09	8%	0,17	15%
ВЕТРОВАЯ ЭНЕРГИЯ	0	0,0009	0,0014	0,09	в 100раз	0,4	в 500 раз
СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ							
Фотоэлектрическая энергия	0	0,0001	0,0001	0,004	в 40 раз	0,04	в 400 раз
Солнечное тепло	0	0,0002	0,0002	0,004	в 20 раз	0,04	в 200 раз
ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ	0	0,01	0,03	0,1	в 10 раз	0,3	в 30 раз
ВСЕГО	4,9	6,1	6,8	3,1	50%	6,2	100%
Доля потребления первичной энергии, %	18,0	21,3	22,1		27*		35*
ТОРФ	1,34	1,78	1,99	Текущее потребление		Текущее потребление	

Таблица 11.2. Увеличение производства электроэнергии в Финляндии.

	Год 1995		Увеличение использования в период с 1995 по 2010 г.		Прогнозные показатели увеличения в период с 1995 по 2025 г.	
	ТВт	МВтэ	ТВт	МВтэ	ТВт	МВтэ
БИОЭНЕРГИЯ						
Промышленность	6,2	2 000	3,5	500	10,5	1 500
ТЭЦ в системах централизованного теплоснабжения	Включена в предыдущий показатель	Включена в предыдущий показатель	2,7	550	6,1	1200
ГИДРОЭНЕРГИЯ (<10МВт)	12,8**	2 200**	1,0	420	2,0	700
ВЕТРОВАЯ ЭНЕРГИЯ	0,01	6	1,1	500	5,1	2 000
СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ						
Фотоэлектрическая энергия	0,001	1,5	0,05	40	0,5	500
ВСЕГО	19	4 200	8,35	2 010	24,2	5 900
Увеличение по сравнению с 1995 г.			40%	50%	120%	140%
Доля электроэнергии, %	27%		31%		40%	
ТОРФ	5,2	1 000				

*По данным сценария, разработанного Министерством торговли и промышленности Финляндии, представленного осенью 1998 г.

**Также включает гидроэнергетические объекты большой мощности.

12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМИНОВ И ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ

Следующие определения терминов, относящихся к древесному топливу, приводятся в основном по изданию "Пособие по обеспечению качества твердого древесного топлива" (FINBIO 1998) и работе авторов Алкангаса и др. (Alkangas et al 1999). Определения терминов, относящихся к лесозаготовительным работам, в основном приводятся по публикации (Hakkila 1995). Терминология, относящаяся к сжиганию топлива и выработке теплоты и электроэнергии, приводится по www.ask.com. и шведскому изданию "Сборники информации по охране окружающей среды КТН".

12.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДОВ ТОПЛИВА

Твердое топливо

Топливо не в жидкой форме, например древесное топливо и другие виды биомассы.

Топливная щепа

Общий термин, обозначающий щепу, полученную путем измельчения для сжигания с использованием различных методов.

Лесная щепа

Общий термин, обозначающий щепу, полученную из сырой древесины деревьев.

Щепа из бревен или щепа из длинномерной древесины

Щепа, полученная из очищенных от ветвей и сучьев деревьев.

Щепа из целых деревьев

Щепа, полученная из надземной биомассы дерева (т.е. ствола, ветвей, хвои или листьев).

Щепа из отходов лесозаготовок

Щепа, полученная из ветвей и вершин (крон) после заготовки деловой древесины.

Щепа из пней

Щепа, полученная из пней или коряг.

Щепа из отходов деревообработки

Щепа, полученная из необработанных отходов промышленной древесины (ребер, откомлевок и т.д.).

Щепа из лесопильных отходов

Щепа, полученная из побочных продуктов лесопильного производства с остатками или без остатков коры.

Опилки

Древесная пыль, являющаяся побочным продуктом лесопильного производства.

Кора

Отходы в форме коры, полученные при обработке деловой древесины, полученные с использованием различных методов окоривания деревьев.

Щепа из строгальных отходов

Отходы, полученные при строгании древесины.

Шлифовальная древесная пыль

Пылеобразные древесные отходы, образующиеся при шлифовании необработанной древесины и досок; не должны содержать клеев во вредных количествах.

Отходы фанерного производства

Отходы фанеры, образующиеся при производстве фанеры на предприятии; не должны содержать клеев во вредных количествах.

Непокрытая древесина

Щепа, полученная из древесины, не подвергавшейся химической обработке, доставленной со строительных площадок и муниципальных объектов; не должны содержать отходов, древесины, подвергавшихся химической обработке.

12.2 ОБЪЕМ И ПЛОТНОСТЬ ТОПЛИВА

Кубический метр твердого топлива

м³: кубический метр плотного объема, включая кору.

Объемный кубический метр

м³ общего (насыпного) объема: кубический метр щепы.

Объемная плотность

кг/м³ общего (насыпного) объема: масса и вес, измеренные при получении.

Плотность щепы

м³/м³ общего (насыпного) объема: плотный объем/ общий объем.

12.3 КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕСЧЕТА

Вид топлива	Единица измерения	ГДж	МВт	Т условного топлива в пересчете на нефть	Т/м ³ (или т/м ³ насыпного объема)
Сырая нефть	Т	41,868	11,63	1,00	0,855
Мазут	Т	40,60	11,278	0,970	0,955
Легкое дистиллятное топливо	Т	42,50	11,806	1,015	0,845
Дизельное топливо	Т	41,50	11,528	0,991	0,845
СНГ (сжиженный нефтяной газ)	Т	46,30	12,861	1,106	0,580
Уголь	Т	25,211	7,003	0,602	0,800
Кокс	Т	29,30	8,139	0,700	0,750
Антрацит	Т	33,48	9,30	0,820	0,800
Природный газ (0°C)	1000 м ³	36,00	10,00	0,860	0,732
Черный шлол		11,70	3,25	0,279	1,415
Дровяная древесина (береза)	м ³ штабелированной древесины	5,40	1,50	0,129	0,400
Смешанная дровяная древесина	м ³ штабелированной древесины	4,51	1,25	0,107	0,350
Топливная древесная щепа	м ³ насыпной древесины	2,88	0,80	0,069	0,300
Опилки	м ³ насыпной древесины	2,16	0,60	0,052	0,300
Строгальная стружка	м ³ насыпной древесины	1,80	0,50	0,043	0,100
Кора мягких пород древесины	м ³ насыпной древесины	2,16	0,60	0,052	0,300
Гранулированная древесина	Т	17,3	4,80	0,472	0,670
Кора березы	м ³ насыпной древесины	2,52	0,70	0,060	0,350
Дерновой торф	м ³ насыпного торфа	5,04	1,40	0,120	0,380
Фрезерный торф	м ³ насыпного торфа	3,24	0,90	0,077	0,320

Таблица 12.2. Коэффициенты пересчета различных единиц энергии

	Т условного топлива в пересчете на нефть	МВт	ГДж	Гкал
Т в пересчете на нефть	1	11,63	40,868	10,00
МВт	0,0886	1	3,600	0,860
ГДж	0,02388	0,2778	1	0,2388
Гкал	0,1	1,163	4,1868	1

Например, 1 т условного топлива в пересчете на нефть = 11,63 МВт

Единицы количества

К = кило = $10^3 = 1\ 000$

М = мега = $10^6 = 1\ 000\ 000$

Г = гига = $10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$

Т = тера = $10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$

П = пета = $10^{15} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$

12.4 СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ, ОБОЗНАЧАЮЩИХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

Раскряжевка (распиловка, разделка долготья)

Разделка сваленных целых деревьев или их частей на сортименты.

Пакетирование

Подбор и формирование из целых деревьев или их частей пачек или штабелей.

Рубильная машина

(Передвижная) машина, предназначенная для переработки в щепу целых деревьев или их частей.

Колка

Расщепление деревьев на тонкие отрезки заданных размеров.

Дробилка

(Передвижная) машина, предназначенная для измельчения целых деревьев или их частей сжатием или ударным воздействием.

Измельчение

Измельчение целых деревьев или частей деревьев сжатием или ударным воздействием.

Рубка

Валка деревьев в сочетании с другими заготовительными операциями — такими, как очистка от ветвей и раскряжевка.

Очистка от ветвей

Удаление ветвей с целых деревьев или частей деревьев.

Валочно-пакетирующая машина

Самоходная машина, предназначенная для валки деревьев и формирования из них пачек.

Валка

Рубка или корчевание деревьев.

Транспортировка в лесу

Транспортировка лесоматериалов или лесосечных отходов с помощью форвардеров из леса к основной дороге.

Форвардер

Самоходная машина, предназначенная для транспортирования целых деревьев или частей деревьев с лесосеки к основной дороге (магистрале).

Трелевка в погруженном положении

Транспортирование целых деревьев или частей деревьев над поверхностью земли.

Лесозаготовительная машина

Самоходная многофункциональная машина, выполняющая валку леса в сочетании с другими заготовительными операциями. Лесозаготовительные машины делятся на следующие два основных типа в зависимости от того, для выполнения какой основной лесозаготовительной операции они предназначены при валке и пакетировании деревьев: однозахватные лесозаготовительные машины и двухзахватные лесозаготовительные машины.

Трелевка

Транспортировка целых деревьев или частей деревьев посредством их подтаскивания.

12.5 СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ, ОТНОСЯЩИХСЯ К ПРОЦЕССУ СГОРАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВУ ТЕПЛА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Агломерированная зола

Спекшиеся (слипшиеся) частицы золы.

Точка плавления золы

Температура, при которой происходит расплавление золы.

Щелочность

Высокое значение рН. рН является показателем кислотности, например почвы. Чем ниже значение рН, тем выше кислотность почвы.

Катионы

Соли, растворенные в почвенной воде, — положительно заряженные ионы. Источники: разложение веществ почвы. Разложение почвенных минералов.

Циркуляционный насос

Насос, осуществляющий циркуляцию воды в системе отопления дома.

Конвекция

Перенос теплоты потоком жидкости или газа. При нагревании жидкость расширяется и плотность ее уменьшается. Более теплые и менее плотные участки жидкости поднимаются вверх сквозь окружающую их более холодную жидкость. Если тепло продолжает подаваться, более холодная жидкость, которая заменяет поднимающуюся вверх жидкость, также нагревается и начинает подниматься, создавая конвекционный поток.

Диоксины

210 химических веществ, 12 из которых являются особенно токсичными. Одно из них имеет название "диоксин".

Доломит

Двойной карбонат кальция и магния ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), белого, серого, коричневого или красноватого цвета, обычно имеющий кристаллическую структуру. Как правило, карбонатная порода состоит преимущественно из минерала доломита, похожего на известняк, но более прочного и тяжелого. Используется для уменьшения содержания серы в отходящих газах процесса горения.

Электромагниты

Устройство, в котором электрический ток, проходя через обмотку, охватывающую ферромагнитный сердечник, создает магнитное поле. Сила магнитного поля зависит от числа витков провода катушки, силы тока и магнитной проницаемости сердечника. Некоторые электромагниты, оснащаемые катушками, не оказывающими сопротивления протекающему по ним электрическому току, могут создавать сильное магнитное поле. При отключении тока электромагнит перестает создавать магнитное поле.

Змеевики отопления пола

Укладываемые в полах змеевики, предназначенные для нагрева пола.

Углеводородное соединение

Любое органическое соединение, состоящее только из углерода и водорода. Углеводороды включают алифатические соединения, в которых атомы углерода образуют цепочки.

Минералы

Природное неорганическое соединение, имеющее характерные свойства и однородный химический состав, определенные физические свойства и, как правило, характерную кристаллическую структуру. Некоторые минералы являются элементами (например, углерод, золото, железо, серебро); большинство минералов представляют собой химические соединения.

Реакция окисления

Дополнительные химические реакции, характеризующиеся потерей или присоединением соответственно одного или нескольких электронов атомом или молекулой. Когда атом или молекула объединяются или образуют химическую связь с кислородом, они отдают электроны кислороду. Напротив, разрывая связь с кислородом, они присоединяют электроны. Окисление определяется как любая реакция, характеризующаяся отдачей электронов, а восстановление — как реакция, характеризующаяся присоединением электронов.

Изготовление сборных конструкций

Метод изготовления на предприятии крупных строительных блоков, сборка которых осуществляется на строительной площадке.

Предварительная топка

Используется для повышения КПД действующего котла. Древесина сжигается в предварительной топке, а полученный газ — в топке котла.

Реторта

Сосуд сферической формы с длинным загнутым вниз горлом.

Шлак

Зола (в данном случае), расплавившаяся и образовавшая более крупные частицы.

Шлам

Приготавливается добавлением, например, золы в большое количество воды; используется для предотвращения запыления.

Термодинамика

Область науки, в которой изучаются свойства теплоты и способы ее преобразования в другие формы энергии.

Турбулентность

В физике — состояние постоянного неупорядоченного изменения характеристик потока жидкости. Явление турбулентности характерно для систем, содержащих большое число частиц.

ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

- Alakangas, E. 1992. Taloustulisijojen kaytto (How to use fireplaces). Rakennustieto Oy.
- Alakangas, E. 1998. Statistical Survey on Renewable Energy Sources in Finland. In Altener Newsletter 8: 5-8. Jyvaskyla, Finland.
- Alakangas, E., Sauranen, T. & Vesisenaho, T. 1999. Production Techniques of Logging Residue Chips in Finland. Training Manual. ENE39/TOO39/99. AFB- net IV and BENET. 83 p.
- ALTENER, AFB-net 111. 1997. European wood fuel standards. Activity report produced by ETSU, 27 August 1997. 5 p (unpublished)
- Andersson, G. 1999. Technical Developments in the Harvesting of Forest Bioenergy Fuel. In: Bioenergy 99, Nordic Bioenergy Conference and Exhibition, Documentation. Stockholm 9-10 November 1999. P. 59-64. SVEBIO
- Ask.com. 2000. Homepage, www.ask.com.
- Asplund, D. 1999. Co-generation of Electricity and Heat and District Heating Systems for Biofuels. In: Bioenergy 99, Nordic Bioenergy Conference and Exhibition, Documentation. Stockholm 9- 10 November 1999. SVEBIO.
- Asplund, D., Nikku, P. & Savolainen, M. (editors) 1999. Bioenergian tutkimusohjelman loppuraportti 1993-1998, julkaisuja 29. Jyvaskylan Teknologiakeskus Oy. Bioenergy Research Programme, Final Report 1993-1998. Publications 29. 244 p. Jyvaskyla Science Park Ltd. Jyvaskyla, Finland.
- Bachs, A. 1998. Miljon och smaskalig pelletseldning. Projektrapport fran programmer Smaskalig fobraning av biobranslen. Energimyndigheten. ER 18:1998. English summary: Small scale pellet combustion and the environment.
- Beckman, O., Kjollerstrom, B., Sundstrom, T. 1991. Energilara; c. 281. Almqvist & Wiksell Forlag AB.
- Bioenergin och klimatpaverkan. 1999. Bioenergi. Projekt uthalliga energilosningar. Vattenfall Ab. Juni 1999.
- Broek van den, R. 1997. The Role of Wood Energy in Europe and OECD. Food and Agriculture Organisation of the United Nations. FAO Reports. (<http://www.fao.org/docrep/w7407e/>).
- Bojrjesson, P. 1999. Multi-Functional Energy-Forest Plantations. In: Bioenergy 99, Nordic Bioenergy Conference and Exhibition, Documentation. Stockholm 9-10 November 1999. P. 69-73. SVEBIO.
- Castren, M. & Lukkala, K. 1986. Hakelammityksenja tyoperaisten altisteiden vaikutus maanviljelijoiden hengityselinoireisiin. Summary: The Effects of Heating with Wood Chips and Occupational Predispositions on Farmers' Respiratory Symptoms. Tyotehoseuranjulkaisutja 282. Work- Efficiency Institute's Publications 282, Helsinki 1986.
- Castren, M., Petila, J. & Kotimaa, M. 1995. Poltohakkeen tyohygieeninen laatu. Tyotehoseuran metsatiedote 552. TTS-Institute (Work Efficiency Institute), Forestry Bulletin 552.
- CEN/BT/WG 108. 1999. Solid biofuels N 40 – standardisation. Pre-normative work for standards. Country reports, 1999 (unpublished).
- COM. Commission of the European Communities (97) 514 final "A Community strategy to promote CHP and to dismantle barriers to its development".

Commission of the European Communities. 1997. Energy for the Future: Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan. Communication from the Commission. COM(97) 599 Final. Brussels 26.11.1997.

Coward, G. 1992. Tree book: Learning to recognize trees of British Columbia. Forestry Canada.

Danfors, B., Ledin, S. & Rosenqvist, H. 1998. Short-Rotation Willow Coppice. Growers' Manual. Swedish Institute of Agricultural Engineering. 40 p.

Egger, C. 1999. Promotion of Pellets for the Single Family House Market in Upper Austria. In: Bioenergy 99, Nordic Bioenergy Conference and Exhibition, Documentation. P. 163-167. Stockholm 9-10 November 1999. SVEBIO

Egnell, G. 1998. Rapport. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbransleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. P. 146-153. The National Board of Forestry in Sweden.

Egnell, G. & Leijon, B. 1996. Langsiktiga effekter på skogsproduktionen av stora uttag av avverkningsrester. In: Ekologiska effekter av skogsbransleuttag och askaterföring. Kungl. Skogs- och lantbruksakademiens Tidskrift. Arg. 135/ Nr 13: 83-89.

Eilavaara, E. 1999. Nykytilanne puupellettien tuotannossa ja käytössä. Summary: The Current Situation Regarding the Production and Use of Pelletised Wood in Finland. Työtehoseuran metsätiedote 13. Work Efficiency Institute, Forestry Bulletin 13.

Eilavaara, E., Walden, K. & Kouki, J. 1999. Puupelletti – uusi energiajaloste. TEHO (4): 63-66. Article in Work Efficiency Institute's magazine TEHO (4): P. 63-66.

Elonen, J. & Korpilahti, A. 1996. Hakkuutahteen talteenoton vaikutus hakkuun ajanmenekkiin ja tuottavuuteen. Metsätalon katsaus 5 /1996. Helsinki: Metsätaho. 6 s.

El-Wakil, M.M. 1984. Powerplant Technology. McGraw-Hill International Editions.

Encyclopedia.com. 2000. Homepage, www.encyclopedia.com.

Energy in Europe – European Energy to 2020 – A scenario approach, Special issues – Spring 1996. European Commission, Directorate General for Energy (DG XVII). 209 p.

Energy in Europe. 1998. Annual Energy Review -Special issue – December 1998, European Commission 195 p.

Eriksson, J. 1993. Karakteriserin- av vedaska. UB 1993/48. Vattenfall projekt Bioenergi.

Feldmann, H.F, Paisley, M.A., Appelbaum, H. R. & Taylor, D. R. Conversion of forest residues to methane-rich gas by a high throughput gasifier, Battelle, Columbus, OH, USA.
FINBIO. 1998. Quality Assurance Manual for Recovered Fuels (REF/ RF). For Test Use. Finnish Bioenergy Association. Publications. 28 p. Jyväskylä, Finland.

Finnish Forest Industries Federation. 1999. Facts and Figures. Statistics 1998. Helsinki 51 1999. Paino Polar Oy. 40 p

Finnish Statistical Yearbook of Forestry 1998. 1998. The Finnish Forest Research Institute. 344 p.

Forestry Energy in Sweden. part 5. I 1984, Impact of whole tree utilisation on natural environment and silviculture. Swedish University of Agricultural Sciences, I I I s.

- Frederiksen, S., Werner, S. 1999/3/ Fjärrvarme – Teori, teknik och funktion. P. 11-15, 138-143, 230-232, 244-245, 249-251. Studentlitteratur.
- Germann, L. 1999. Type Approval and Financial Investment Subsidies for Small Biofuel Boilers in Denmark. Danish Technological Institute. DTI energy, Biofuels. Arhus, Denmark. Paper presented in a seminar on development and markets of small biofuel boilers in Central Europe, Jyväskylä, Finland, 24.8.1999.
- Gustavsson, L., Persson, H., Bachs, A., Dahstrom, J-E., Lofgren, B-E. 1998. P-markning av pelletsbrännare, utveckling av ett kvalitetsmarkningssystem. English summary: P-marking pellet burners: developing a system for the certification of quality. Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut.
- Hadders, G. 1996. Pelletsparmen. P. 3-1 1. Swedish Institute of Agriculture Engineering.
- HAKE-projekti. 1998. Hakelammityksen vaikutukset paikallistalouteen. EMOTR. Ai-Ri Offset Ky, Pori 1998. 19 c.
- Hakkila, P. 1995. Procurement of Timber for the Finnish Forest Industries. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 557. 73 p.
- Hakkila, P. 1998. Hakkuutahteen mahdollisuudet energianlahteenä. Puuenergia 3/ 1998: p. 8-9.
- Hakkila, P. 1999. Puuenergian teknologiaohjelma. Puuenergian teknologiaohjelman seminaari. Jyväskylä 12.10.1999. 10 p.
- Hakkila, P. & Fredriksson, T. 1996. Metsamme bioenergian lahteenä. Metsäntutkimuslaitos ja Puuenergia ry. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 613. 92 s. The Finnish Forest Research Institute.
- Hakkila, P., Nurmi, J. & Kalaia H. 1998. Metsänuudistusalqien hakkuutahtede energialahteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 684. 68 s. The Finnish Forest Research Institute.
- Hansson, M. 1998. Storskalig askhantering i Mellansverige. P. 58-59. Rapport 1998/3. Vattenfall.
- Harstela, P. & Takalo, S. 1974. Kokeita oksaraaka-aineen kuormauksesta ja kuljetuksesta. Folia Forestalia 215. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos. 12 s.
- Hasselgren, K. 1999. Use of Municipal Wastewater in Short Rotation Energy Forestry – Full-scale Application. VBB VIAK AB, Maimo, Sweden. 4 p. Paper given at the Bioenergy 99 Conference in Stockholm, 9-10 November 1999.
- Hektor, B. 1992. 1996 revised. Employment effect of biofuels (in Swedish). SIMS, Uppsala.
- Helynen, S., 1997. Biopoittoaineet kehittyvissä teollisuusmaissa. Kauppa- ja teollisuusministerion tutkimuksia ja raportteja 20/ 1997. Oy Edita Ab. Abstract: Bioenergy in Industrialized Countries. Ministry of Trade and Industry, Finland. 142 p.
- Helynen, S., Hoittinen, H., Lund, P., Sipila, K., Wolff, J. & Alakangas, E. 1999. Background report for the Action Plan of Renewable Energy Sources. VTT Energy. Finnish Ministry of Trade and Industry Energy Department. Studies and Reports 24/1999. In Finnish, English abstract. 112 p.
- Helynen, S. & Nousiainen, I. 1996. Biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöpotentiaalit. Kauppa- ja teollisuusministerion tutkimuksia ja raportteja 26/ 1996. Oy Edita Ab. Abstract: Production and Consumption Potentials for Bioenergy. Ministry of Trade and Industry, Finland. 114 p.

Hillring, B. & Vinterbäck, J. 1999. Wood Energy and European Trade Patterns – Why Sweden is the No. 1 Biofuel Importer in Europe. Paper presented at "4th Biomass Conference of the Americas", Oakland, California, August 29-September 2, 1999. Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Department of Forest Management and Products. 7 p.

Honkasalo, M. 1999. Lampoyrittäjyys ja kokemukset. Julkaisussa: Bioenergiapaivat 99 17.-18.11.99, FIN-BIO raporttisarja 4: 280-283.

http://edc1.vt.tuwien.ac.at/AG_HOFBA/Biobib.htm (I 1997).

Huotari, J. 1999. Co-generation of Electricity and Heat at Sawmills. In: Bioenergy 99, Nordic Bioenergy Conference and Exhibition, Documentation. P. 131-135. Stockholm 9-10 November 1999. SVEBIO

Ihonen, M. 1997a. NaarvaSyke-yksiotehakkulaite kuitu- ja polttopuun hakkuussa. Tyoteseuran metsätiedote 11 (579). Summary: NaarvaSyke single-grip cutting device in cutting of pulpwood and firewood. TTS Institute (Work Efficiency Institute), Forestry Bulletin II/ 1997.

Ihonen, M. 1997b. Pienpuun siirtelykaato kahvoilla varustetulla moottorisahalla. Tyoteseuran metsätiedote 13 (58 1). Summary: Felling-piling of small-diameter wood using chainsaw equipped with a felling frame. ITS Institute (Work Efficiency Institute), Forestry Bulletin 13/ 1997.

Ihonen, M. 1998. AM 240-yksiotehakkulaite kuitu- ja polttopuun hakkuussa. Tyoteseuran metsätiedote 4 (587). Summary: AM 240 single-grip cutting device in cutting of pulpwood and fuelwood. TTS Institute (Work Efficiency Institute). Forestry Bulletin 4/ 1998.

Impola, R. et al. 1998. Quality Assurance Manual for Solid Wood Fuels. Finnish Bioenergy Association. FINBIO Publications 7. 33 p. Jyväskylä, Finland.

Jansson, R. 1994. Miljöeffekter. Kompendium i miljöskydd, del 4. P. 7-30. KTH.

Jirjis, R. 1995. Storage and drying of wood fuel in Sweden. Puupolttoaineiden varastointiseminaari 25.1.1995. Jyväskylä, Finland.

Jylha, A-P. 1998. Kuntien kokemukset lampoyrittämisestä. Summary: Municipalities' experiences with heating entrepreneurship. Tyoteseuran metsätiedote 13/1998 (596). TTS-Institute (Work Efficiency Institute), Forestry Bulletin 13/1998.

Jylha, A-P. 1998. Lampoyrittäminen kunnan nakokulmasta. Tyoteseuran monisteita 51 1998 (65). Helsinki. 66 p.

Jaaskelainen, J. & Alakangas, E. 1999. Bioenergy Utilisation and Potential in the Baltic and Other CEE Countries. Altener, AFB-net IV. European Network to co-ordinate information exchange between National Biomass Energy Programmes on Agricultural and Forestry Biomass. Report ENE39/TOO45/99. VTT Energy Finland. 92 p. + appendices.

Kimmins, J.P. 1987. Forest Ecology. Macmillan Publishing Company. University of British Columbia. 531 P.

Kitani, O. & Hall, C. W. 1989. Biomass Handbook, Gordon and Breach Science Publishers.

Klyven clas -brochure.

Lammi, H., Tynkkynen, O. & Lampinen, A. 2000. Tietopaketti ihmistonmuutoksesta.

- Lantbrukshalsan informerar. 1987. Forebygg svampangrepp i flis. Jordbrukstekniska institutes informationsmaterial 51 87. Uppsala, Sweden 1987.
- Lanzara, P. & Pizzetti, M. 1978. Simon and Schuster's guide to trees. A field guide to conifers, palm broadleaves, fruits, flowering trees, and trees of economic importance. A Fireside Book, Published by Simon & Scpuster, Inc., New York.
- Lasselsberger, L. 1999. Quality Marking and Environmental Testing of Small-scale Biomass Boilers in Austria. Federal Institute of Agricultural Engineering (Bundesanstalt fuer Landtechnik). Wieselburg, Austria. Paper presented in a seminar on development and markets of small biofuel boilers in Central Europe, Jyvaskyla, Finland, 24.8.1999.
- Lehtikangas, P. 1998. Lagringshandbok for tradbranslen. Statens Lantbruksuniversitetet. Uppsala. 116 p.
- Ljungblom, L. (editor) 1996. Vedparmen. P. B3.1-B3.5, B4.1-B4.3. VedTek.
- Lofgren, B-E. 1999. Pelletsvarme- framtidens sjalvklara villavarme. Energimyndigheten. ET 55: 1999. Eskilstuna, Sweden.
- Mattila, Kari. 1998. Maataloustraktorin ketjukarsintalaite poittopuurankqjen valmistuksessa Tyotehoseuran metsatiedote 1 (584). Summary: Tractor-mounted chain delimeter in the production of fuelwood longwood. TTS Institute (Work Efficiency Institute), Forestry Bulletin I/ 1998.
- McGraw-Hill Encyclopedia of Energy, Second Edition. 1981. McGraw-Hill.
- Melstrom, C. & Thorlind, M. 1981. Skotning av hv gerester. Forskningsstiftelsen Skogarbetens. 9 Ekonomi Nr 1, ette NE-projekt. Stockholm: Forskningsstiftelsen Skogarbeten. 4 p.
- Metsateollisuus ry. 1998. Suomen metsateollisuus (Finnish Forest Industries Federation), Taskukirja.
- Mielikainen, K., Hirvela, H., Harkonen, K. & Malinen, J. 1995. Energiaptiu osana metsankasvatusta Keski-Pohjainmaalla. Metsantutkimuslaitoksen tiedonantoja 556. 56 s.
- Miles, T. R., Miles, T.R. Jr, Baxter, L., Bryers, R.W. Jenkins, B.M. & Oden, L.L. 1995. Alkali deposits found in biomass power plants, A preliminary investigation of their extend and nature, NREL/TP-433-8142, 82 p.
- Ministry of Trade and Industry, Energy Department, Finland. 1999. Kauppa- ja teollisuusministerio. Uusiutuvien energialahteiden edistamisohjelma. Julkaisuja 4/ 1999. Summary: Action Plan for Renewable Energy Sources. 36 p. Edita Ltd, Helsinki, Finland.
- Murphy, D., Bramm, A., Walker, K. 1996. Energy from Crops. P. 297-298. Semundo. Svalof Weibull.
- Mutanen, K. 1999. New Technology for Log-firing in Small Houses. In: Bioenergy 99, Nordic Bioenergy Conference and Exhibition, Documentation. p. 155-161. Stockholm 9-10 November 1999. SVEBIO
- Mutikainen, A. 1998. Uusi kiilakirves pilkkeiden teossa. Tyotehoseuran metsatiedote 5/ 1998 (558). Summary: hmovative wedge axe in making split firewood. TTS Institute (Work- Efficiency Institute), Forestry Bulletin 51 1998.
- Mutikainen, A. 1999. Maataloustraktorin uusi peravaunu energia- ja kuitupuun metsakuljetuksessa. Tyotehoseuran metsatiedotteita 4/ 1999 (602). Summary: New trailer for agricultural tractors for forest haulage energy wood and pulp wood. TTS Institute (Work Efficiency Institute), Forestry Bulletin 4/ 1999.

- Malkki, H., Hongisto, M., Turkulainen, T., Kuisma, J. & Loikkanen, T. 1999. Vihreän energian kriteerit ja elinkaariarviointi energiatuotteiden ympäristökilpailukykyyn arvioinnissa. VTT Kemianteleknikka/ Ympäristöteknikka. (in Finnish). VTT Tiedotteita 1974. Abstract: Green Energy Criteria and Life-Cycle Assessment in Assessing Environmental Competitiveness of Energy Products. VTT Research Notes 1974. 117 p. + app. 24 p.
- Malkonen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. *Comm. Inst. For. Fenn.* 84.5, 87 p.
- Nikku, P. (editor) 1999. Bioenergian tutkimusohjelman julkaisuja 21. Projektikirja 1993-1998, Osa 1, Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. Jyväskylän Teknoliakeskus Oy. Project book 1993-1998, Part 1, Production of wood fuels. BioenerRv Research Programme, Publications 21. 610 P. Jyväskylä Science Park Ltd. Jyväskylä, Finland.
- Nilsson, A. 1993. Rapport, R 1993:42. Tekniker för behandling av aska. Ramprogram askaterföring. NUTEK.
- Nilsson, J. & Timm, B. 1983. Miljöeffekter av ved- och torvförbränning. En översikt sammanställd av statens naturvårdsverk på uppdrag av namnden för energiproduktionsforskning. Meddelande s.n.v. p.m. 1708. 232 p. Naturvårdsverket. Swedish Environmental Agency.
- Nousiainen, I. 1999. Sahateollisuuden sivutuotteet polttoaineina. Julkaisussa: Puumateriaalin teknologiaohjelman seinänaari. Jyväskylä 12.10.1999. 12 s.
- Nousiainen, I., Imponen, V., Jaatinen, E. & Korpilampi, A. 1995. Puupolttoaineiden tuotantomenetelmät. NykYTEknikka, kustantamismahdollisuudet. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 5. 97 s. VTT Energia.
- Nurmi, J. 1992. Measurement and evaluation of wood fuel. Vol. 2, Nos 1-6. pp. 157-171. Reprinted from *Biomass and Bioenergy*, Pergamon Press Ltd.
- Nurmi, J. 1993. Heating values of willow-tree biomass in young forests in Finland. *Acta Forestalia Fennica* 236. 27 p. + app. 3 P. Tampere. Finland.
- Nurmi, J. 1997. Hakkuutahteen korjuu paatehak-kuukuusikoista. Työtehoseuran metsätiedote 569. 4 p. TTS-Institute (Work Efficiency Institute).
- Nuutila, M. 1999. Biopolttoaineiden käyttö kaukolämmityksessä. Motivan julkaisu 6/ 1999. 34 P. Motiva, Helsinki.
- Nystrom, K. 1999. The Bioenergy Market in Europe. In: *Bioenergy 99, Nordic Bioenergy Conference and Exhibition, Documentation*. Stockholm 9-10 November 1999. P. 15-20. SVEBIO.
- Oijala, T., Alakangas, E., Angus-Hankin, C., v. Bismarck, F., Esteban, L., Hektor, B., Kuitto, P.-J., Mitchell, P., Saldanha, L., Stevens, E. & Vikinge, B. 1998. European Wood Fuel and Industrial Raw Material Potential Using Integrated Harvesting Methods, Final Report. European Commission, Altener Programme. VTT Energy, Fuels and Combustion. Jyväskylä, Finland.
- Pelletsklubben. 1999. Pellets i Sverige. Pellets in Sweden. Information brochure. 8 p.
- Pirinen, H. 1998. Lämmityspilkkkeen laatuohje. Suomen Bioenergiayhdistys, julkaisu 8. 17 p. Jyväskylä, Finland.
- Pirinen, H. 1997. Pilkeopas omakotitaloille. Työtehoseuran julkaisuja 357. 36 p. TTS Institute (Work Efficiency Institute), Helsinki, Finland.

Pohjonen, V. 1991. Selection of Species and Clones for Biomass Willow Forestry in Finland. Tiivistelmä: Biomassan viljelyyn sopivien puulajien ja -kloonien valinta Suomessa. Acta Forestalia Fennica 221.58 P. The Society of Forestry in Finland. The Finnish Forest Research Institute. Helsinki.

Pohjonen, V. 1994. Puuenergiälahteenä. Tapion Traskukirja, 22. Uudistettu painos. P.566-576.

Pulkkinen, P. 1996. Polttoaineen tuottaminen hakkuutahteesta ja muusta jätetuusta hakettamalla ja murskaamalla. Pro gardu-tutkimus. Joensuun yliopisto. 60 p. MSc thesis in Forestry, University of Joensuu, Finland.

Puun energiakäyttö ja sen edistäminen. 1998. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 18/1998. Oy Edita Ab. Abstract: The Energy Use of Wood and Its Promotion. Ministry of Trade and Industry, Finland. 47 p.

Ragland, K. W., Aerts, D. J. & Baker, A.J. 1991. Properties of wood for combustion analysis. Bioresources Technology 37 pp. 161-168. Forestry waste firing of industrial boilers, Oldham (UK).

Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J. & Hupa, M. (eds). 1995. Pöytä ja Palaminen, p. 212. (Burning and combustion). International Flame Research Foundation – National Committee of Finland.

Ryynänen, S. 1996. Pöytäpuun korjuun kehittäminen metsanomistajien tekemissä ensimmäisissä. Bioenergian tutkimusohjelman tutkimusprojektin 108 (1993-1995) loppuraportti. Summary: Developing Harvesting of fuelwood in first thinnings carried out by forest owners in Finland. Final report of the project 108 (1993-1995) of the Bioenergy Research Programme. Työtehoseuran julkaisuja 350, 63 p. TTS-Institute's Publications 350.

Ryynänen, S. & Mononen, S. 1998. Kustansiusten alentaminen hakkuutahteiden metsakuljetuksessa inaat-aloustraktorilla. In: Bioenergian tutkimusohjelman vuosikirja 1997. Osa I: Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. Jyväskylä, p. 219-223.

Ryynänen, S., Ihonen, M. & Natt, H. 1998. Metsanomistajien energiapuun korjuutekniikat. Bioenergian tutkimusohjelman tutkimusprojektien 130 ja 135 loppuraportti. Summary: Technology in harvesting of energy wood by Finnish forest owners. Final reports on projects 130 and 135 of the Bioenergy Research Programme. Työtehoseuran julkaisuja 363. 57 s. TTS-Institutes' Publications 363. 57 p.

Saarsalmi, A., Paimgren, K. & Levula, T. 1992. Harmaalepan ja rauduskoivun biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö energiapuuviljelmällä. Summary: Biomass production and Nutrient Consumption of *Alnus incana* and *Betula pendula* in Energy Forestry. Folia Forestalia 797. 29 The Finnish Forest Research Institute. Helsinki 1992.

Sauranen, T. & Vesisenaho, T. 1996a. Hakkuutahtekuorman tiivistäminen tukeilla. Keski-Suomen Metsäenergia-projekti, raportti 10.1. VTT Energia, Jyväskylä

Sauranen, T. & Vesisenaho, T. 1996b. Kuonnatraktorin peruskunnostus ja varustaminen hakkuutahteen metsakuljetukseen. Keski-Suomen Metsäenergia-projekti, raportti 10. 1. VTT Energia, Jyväskylä.

SEC. 1999. Campaign for Take-Off- Energy for the Future: Renewable sources of energy; Commission Staff Working Paper. 14.4.1999.

Solmio, ti. 1998a. Lampoyrittämisen kustannukset ja kannattavuus. Summary: The costs and profitability of heat-energy entrepreneurship. Työtehoseuran metsätiedote 9/ 1998 (592). TTS-Institute (Work Efficiency Institute), Forestry Bulletin 9/ 1998.

Solmio, H. 1998b. Lampoyrittamisen kehittyminen. Summary: Development of heating entrepreneurship. Tyotehoseuran metsätiedote 14/ 1998 (597). TTS-Institute (Work- Efficiency Institute), Forestry Bulletin 14/ 1998.

Solmio, H. 1999. Lampoyrittaminen yleistyy. TEHO 5: 17-19. Maa- ja metsätalouden teemanumero. Tyotehoseura. TTS-Institute (Work Efficiency Institute).

Solmio, H., Tuomi, S. & Valkonen, J. 1995. Opas Lampoyrittäjille. Tyotehoseuran julkaisu 346. 47 p. TTS -institute's Publications, 346.

Statens stralskyddsinstitut (SSI). 1999. Policv for biobransle. Meddelande. Dnr 822/504/99.

Statistic Finland.

Strom, E. 1994. Bioenergi, del 1. P. 96-101.

Suomen energiatalous. Taustatja elinymparisto. 1997. Kauppa- ja teollisuusministerion julkaisu 8/ 1997 (in Finnish). Oy Edita Ab. Abstract: Finnish Energy Economy – Background and Operation.

SVEBIO. 1998. This Is Bioenergy!. Fact sheet 1/98. Bioenergy – A review. Fact sheet 2/98. Wood fuels. Fact sheet: 3/98. Bioenergy – Fossil fuels. Fact sheet 4/98. Biofuels for villas.

SVEBIO. 1998. This is Bioenergy! Energy Crops Keep the Countryside alive. Fact Sheet 5/98. Biofuel from agricultural land. In Swedish: Mot Bioenergin! Odlad energi haller landsbygden levande. Faktabladd 51 1998. Biobranslen fran jordbruksmark. Svenska Bioenergiforeningen. Stockholm.

Svensk Energiforsorjning. Energifakta. 1993. Chapters 10.1, 11.1.

Swedish Institute For Standards (SIS). 1998. Biobranslen och torv – Branslebriketter – Klassificering. Svensk Standard, SS 18 71 23.

TERES II – The European Renewable Energy Study. 1998. The Prospects for Renewable Energy in 30 European Countries from 1995-2020. ESD. 80p. + app. 46 p.

Tomic, K. 1999. The Multipurpose Bioenergy Plant in Skelleftea – Electricity, Heating and Pellets. In: Bioenergy 99, Nordic Bioenergy-Conference and Exhibition, Documentation. P. 77-81 Stockholm 9- 10 November 1999. SVEBIO

Tuhkanen, S. & Pipatti, R. 1999. Uusiutuvien energialahteiden edistamisohjelman ymparistovaikutusten arviointi. Kauppa- ja teollisuusministerion tutkimuksia ja raportteja 23/ 1999. Summary: Environmental Impact Assessment of the Action Plan for Renewable Energy Sources. Ministry of Trade and Industry, Finland. Studies and Reports 23/ 1999.

Tuomi, S. 1998. Lampoyrittaminen. Bioenergian tutkimusohjelman projektin 129 loppuraportti. Summary: Heating entrepreneurship in Finland. Final Report on project 129 of Bioenergy Research Programme. Tyotehoseuran julkaisu 364. TTS-Institute's Publication Series 364. 54 p.

Uusvaara, O. & Verkasalo, E. 1987. Metsahakkeen tiiviysia muita teknisia ominaisuuksia. Folia Forestalia 683. Metsantutkimuslaitos, Helsinki. 53 p. Finnish Forest Research Institute, Helsinki.

VTT Energia. 1999. Energia Suomessa. Tekniikka, talous ja ymparistovaikutukset. 368 p. Oy Edita Ab. Helsinki.

Tahvanainen, L. 1995. Introduction to Willow Cultivation. University of Joensuu, Faculty of Forestry. Silva Carelica 30. 86 p.

The Centre for Biomass Technology. 1999. Wood for Energy Production. Technology – Environment – Economy. Second edition. 69 p. The Centre for Biomass Technology. National Energy Information Centre, EnergiOplysningen. Denmark.

Uusvaara, O. 1994. Puunja puutavaran ominaisuuksia. Tapion Takukirja, 22. uudistettu painos. P. 518-525.

Vattenfall. 2000. Homepage, www.vattenfall.se.

Vinterback, J. 1995. Forarlade tradbranslen 1995. Rapport. R 1995:28. P. 27-36. NUTEK.

Wester, L. 1991. Forbrannigsteknik. Kompendium.

Wihersaari, M. 1996. Biopolttoaineet ja ymparisto. Loppuraportin luonnos. Kauppa- ja teollisuusministerion tutkmiuksia ja raporteja 17/ 1996 (in Finnish). Oy Edita. Abstract: Biofuels and Environment. Ministry of Trade and Industry, Finland. 164 p.

Wilen, C., Moilanen, A. & Kurkela, E. 1996. Biomass feedstock analyses, VTT Publications 282. Espoo, Finland. 25 P.+ app. 8 P.

ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО БАЗОВЫЙ ПАКЕТ ИНФОРМАЦИИ

В книге содержится информация о топливных свойствах древесины, методах энергоснабжения с применением древесного топлива, производства древесного топлива и его использования в производстве тепловой и электрической энергии. Сбор материалов осуществлялся совместными усилиями финских и шведских партнеров из имеющихся источников информации о методах, применяемых в Финляндии и Швеции, а также в ряде других европейских стран.

Программа развития ООН (ПРООН)
Глобальный Экологический Фонд (ГЭФ)
Комитет по энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь

В книге содержится информация о топливных свойствах древесины, методах энергоснабжения с применением древесного топлива, производства древесного топлива и его использования в производстве тепловой и электрической энергии. Сбор материалов осуществлялся совместными усилиями финских и шведских партнеров из имеющихся источников информации о методах, применяемых в Финляндии и Швеции, а также в ряде других европейских стран.

Рецензент А.В. Ледницкий, к.э.н., Белорусский государственный технологический университет.

Перевод издания “Wood fuels. Basic information pack”, Jyvaskyla, 2000.

Книга издана в рамках проекта Правительства Республики Беларусь, ПРООН/ГЭФ “Энергия биомассы для отопления и горячего водоснабжения в Республике Беларусь”.

Для внутриведомственного использования

**ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО — АЛЬТЕРНАТИВА
ТРАДИЦИОННЫМ ИСТОЧНИКАМ ЭНЕРГИИ**

Корректор М.И. Авхимович
Компьютерная верстка К.В. Мурач
Дизайн обложки Е.В. Павлова

Тираж 500 экз., заказ №

Отпечатано в Учебно-выставочном и издательском центре
при УП “Белэнергосбережение”
Адрес: 220037, г. Минск, ул. Долгобродская, 12/2. Тел.: 235-82-61