

**Таллиннский технический университет**

**Виллу Варес, Юло Касък, Пэтер Муйсте,  
Тыну Пиху, Сулев Соосаар**

# **Справочник потребителя биотоплива**

**Под редакцией Виллу Вареса**

**Таллинн 2005**

Русский текст подготовили: Иван Клевцов, Татьяна Бояринова, Дмитрий Нешумаев и  
Андрей Дедов

Редактор русского издания: Иван Клевцов

Иллюстрации: Малле Реммель и Тыну Пиху

Оформление обложки: Анн Горнишефф

Работу финансировал Совет Министров Северных Стран

ISBN 9985-59-586-6

Издательство Таллиннского технического университета

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В 1999 министры энергетики Дании, Эстонии, Финляндии, Германии, Исландии, Латвии, Литвы, Норвегии, Польши, Российской Федерации, Швеции, и Комиссия ЕС учредили ассоциацию по сотрудничеству стран региона Балтийского моря в области энергетики, БАСРЕК.

В 2003-2005 гг. в соответствии с решением, принятом на встрече министров БАСРЕК в Вильнюсе в ноябре 2002 г., была учреждена рабочая группа по биоэнергетике. План работы на период 2003-2005 гг. был разработан в соответствии с предложением, представленным на встрече министров.

Ключевой вопрос, стоявший перед рабочей группой, состоял в том, каким образом присоединиться к участникам рынка. Были намечены следующие действия:

- Действие 1      Повышение уровня развития рынка.
- Действие 2      Разработка стандартов гармонизации рынка.
- Действие 3      Разработка базовой линии для проектов совместного осуществления в энергетическом секторе.
- Действие 4      Научно-технические исследования – международное сотрудничество.

Для региона Балтийского моря характерны обширные ресурсы леса, особенно на северо-западе России. В то же самое время леса - главные источники твердых биотоплив. Другой источник - области сельскохозяйственного сектора, где для производства энергии может использоваться солома и другие остатки. Однако леса все еще главным образом используются для производства пиломатериалов, материала для строительства и целлюлозно-бумажного производства. В качестве топлива традиционно используют дрова. Однако сегодня существуют более эффективные методы сжигания, и возрастает интерес к использованию остатков рубки леса и деревообрабатывающих отраслей промышленности для производства древесного топлива, как для местного потребления, так и для экспорта. Страны Балтии уже более десяти лет являются важными поставщиками древесных чипов и пеллетов в Скандинавские и другие Европейские страны. Теперь в этот рынок входит Россия. Производство и использование биоэнергии имеет существенные преимущества перед невозобновляемыми источниками энергии с точки зрения климата и окружающей среды, а также возможностей создания новых рабочих мест.

Другая характерная черта региона - хорошо развитые системы центрального отопления. В Скандинавских странах большая часть систем центрального отопления базируется сегодня на биоэнергии. В России, странах Балтии и Польше большая часть систем отопления базируется на ископаемых топливах, главным образом угле и мазуте, до некоторой степени также на газе. Но интерес к использованию древесных чипов и пеллетов для производства тепла все более возрастает. Возрастает также интерес к комбинированному производству тепла и электроэнергии, особенно в связи с увеличением цен на ископаемые топлива и электричество.

Особенно хорошо, когда интерес к биоэнергии для производства энергии растет в России и странах Балтии, где имеются высококвалифицированные специалисты-энергетики, эксперты и университеты, хорошо знающие специфические особенности и теорию производства и использования древесных топлив. К сожалению практическое применение биоэнергии распространено здесь пока не так широко.

Поэтому задачей и объектом для Действия 1 было составление Справочника по практическому применению биоэнергии для производства энергии, а также распространение практического опыта. В целом это средство помочь и упростить работу для лиц, принимающих решение в муниципалитетах, компаниях по отоплению и производству биоэнергии, чтобы сделать правильный выбор технологии и производительности заводов по производству биоэнергии.

Работа по составлению Справочника была поручена Таллинскому техническому университету, который имеет длительный опыт и в теории, и в практике применения биоэнергии. На первой стадии Справочник будет представлен на английском, русском и эстонском языках. Надо надеяться, что будет возможным обновлять Справочник, дополняя его местным опытом, и перевести на другие языки региона.

Работу финансировал Совет Министров Северных Стран.

Госпожа Гудрун Кнутссон,

Председатель рабочей группы БАСРЕКа по биоэнергетике 2003-2005



# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	<b>3</b>
<b>1. ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>17</b>
1.1. РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ В ЕС И СТРАНАХ БАЛТИЙСКОГО РЕГИОНА ....	17
1.2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМАССЫ И РЕСУРСОВ ЛЕСА В СТРАНАХ БАЛТИИ .....	21
1.2.1. <i>Стимулирование использования биомассы для производства энергии</i> .....	23
1.2.2. <i>Региональная практика и опыт</i> .....	23
<b>2. СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ БИОТОПЛИВ И ТОРФА</b> .....	<b>29</b>
2.1. ТИПЫ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА.....	29
2.2. СВОЙСТВА ДРЕВЕСНЫХ ТОПЛИВ .....	30
2.2.1. <i>Химический состав, содержание золы, влаги и летучих</i> .....	30
2.2.2. <i>Теплота сгорания</i> .....	32
2.2.3. <i>Плавкостные характеристики золы</i> .....	34
2.2.4. <i>Объем и плотность топлив</i> .....	35
2.3. СОЛОМЫ И ИХ СВОЙСТВА .....	36
2.4. СВОЙСТВА ТОРФА .....	37
2.5. СЕРТИФИКАТЫ КАЧЕСТВА И КЛАССЫ ТВЕРДЫХ БИОТОПЛИВ.....	39
2.5.1. <i>Основы классификации твердых биотоплив</i> .....	40
2.5.2. <i>Показатели классификации топлива</i> .....	41
2.5.3. <i>Классификация торфа</i> .....	43
2.6. ОТБОР ПРОБ ТОПЛИВА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА.....	43
<b>3. ПРОИЗВОДСТВО ТВЕРДОГО БИОТОПЛИВА</b> .....	<b>45</b>
3.1. РАЗДЕЛЕНИЕ БИОМАССЫ В ЛЕСУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРИРОДООХРАННЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТОПЛИВА.....	45
3.1.1. <i>Распределение древесной биомассы</i> .....	45
3.1.2. <i>Технологические и природоохранные ограничения при производстве топлива</i> .....	45
3.2. ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ПОДГОТОВКИ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА .....	47
3.2.1. <i>Щела из стволов</i> .....	47
3.2.2. <i>Щела из отходов рубки</i> .....	48
3.2.3. <i>Технологии цельных стволов и разделки на части</i> .....	56
3.3. МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА .....	57
3.3.1. <i>Измельчители дерева и дробилки</i> .....	57
3.3.2. <i>Упаковщик отходов рубки</i> .....	62
3.3.3. <i>Оборудование для колки поленьев</i> .....	63
3.3.4. <i>Режущая и подбирающая головка</i> .....	65
3.4. ПОКАЗАТЕЛИ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КАЧЕСТВО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА .....	65
3.5. ПРОИЗВОДСТВО УЛУЧШЕННОГО ТОПЛИВА .....	66
3.5.1. <i>Общие сведения</i> .....	66
3.5.2. <i>Брикеты</i> .....	67
3.5.3. <i>Пеллеты</i> .....	67
3.6. ЗАГОТОВКА СОЛОМЫ НА ТОПЛИВО .....	68
3.7. ПРОИЗВОДСТВО ТОРФА .....	70
3.7.1. <i>Фрезерный торф</i> .....	71
3.7.2. <i>Кусковой торф</i> .....	71

3.7.3. Улучшенные топлива из торфа .....	72
<b>4. ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ БИОТОПЛИВА И ТОРФА.....</b>	<b>73</b>
4.1. ГОРЕНИЕ БИОТОПЛИВА И ТОРФА .....	73
4.1.1. Зоны и этапы горения топлива .....	73
4.1.2. О возможности регулирования температуры слоя топлива .....	75
4.1.3. Потери теплоты при горении и коэффициент полезного действия.....	75
4.1.4. Факторы, характеризующие эффективность процесса горения.....	76
4.2. ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ.....	77
4.2.1. Слоевые топki.....	78
4.2.2. Топки с кипящим слоем .....	83
4.2.3. Газификация топлива .....	84
4.2.4. Сжигание соломы.....	86
4.2.5. Пеллеты и горелки для твердого топлива.....	87
4.2.6. Реконструкция котлов на сжигание других топлив.....	89
4.2.7. Малые котлы .....	90
<b>5. СКЛАДИРОВАНИЕ ТОПЛИВА И КОНВЕЙЕРЫ .....</b>	<b>97</b>
5.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ СКЛАДИРОВАНИЯ ТВЕРДОГО БИОТОПЛИВА С РАЗЛИЧНЫМИ СВОЙСТВАМИ.....	97
5.2. Типы складов.....	98
5.3. УСТРОЙСТВА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ И ПОДАЧИ ТОПЛИВА .....	99
<b>6. СНИЖЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ КОТЕЛЬНЫХ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ БИОТОПЛИВА.....</b>	<b>105</b>
6.1. ГАЗООБРАЗНЫЕ ВЫБРОСЫ И ТВЕРДЫЕ ОТХОДЫ.....	105
6.2. Действующие нормативы для ограничения эмиссии загрязняющих веществ .....	106
6.3. УЛАВЛИВАНИЕ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ИЗ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ .....	110
6.3.1. Мультициклоны .....	110
6.3.2. Тканевые фильтры .....	111
6.3.3. Электрофильтры.....	112
6.3.4. Конденсация дымовых газов.....	112
6.4. ЗОЛОУДАЛЕНИЕ И УТИЛИЗАЦИЯ.....	113
6.4.1. Золоудаление .....	113
6.4.2. Утилизация золы.....	114
6.5. ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА КОТЛОВ ОТ ОТЛОЖЕНИЙ .....	115
<b>7. ПЛАНИРОВАНИЕ ОСВОЕНИЯ ТВЕРДЫХ БИОТОПЛИВ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННОМ И МЕСТНОМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ .....</b>	<b>117</b>
7.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ .....	117
7.2. ГРАФИК ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ.....	118
7.3. ВЫБОР КОТЛОВ.....	120
7.4. ИНФРАСТРУКТУРА КОТЕЛЬНОЙ .....	121
7.5. ТОПЛИВО.....	122
7.6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И АНАЛИЗ ПРОЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОТОПЛИВ .....	123
7.6.1. Экономическая оценка проектов использования биотоплив.....	124
7.6.2. Оценка рентабельности инвестиций .....	125
7.7. ОСОБЕННОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ ВНЕДРЕНИЯ БИОТОПЛИВА В МЕСТНУЮ СИСТЕМУ ОТОПЛЕНИЯ.....	126

<b>8.</b>	<b>ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ КОТЕЛЬНЫХ НА БИОТОПЛИВЕ .....</b>	<b>127</b>
8.1.	СТАТИСТИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ .....	127
8.2.	ПРИМЕРЫ УСПЕШНЫХ ПРОЕКТОВ ВНЕДРЕНИЯ БИОТОПЛИВА .....	130
8.2.1.	<i>Котельная Tehnika в г. Тюри</i> .....	132
8.2.2.	<i>Котельная Aardla в г. Тарту</i> .....	136
8.2.3.	<i>Котельная Võrusoo в г. Выру</i> .....	140
8.2.4.	<i>Котельная Männimäe в г. Вильянди</i> .....	144
8.2.5.	<i>Котельная Vabriku в г. Тюри</i> .....	147
8.2.6.	<i>Котельная Kalev в г. Курессааре</i> .....	149
8.2.7.	<i>Котельная в г. Хаапсалу</i> .....	153
8.2.8.	<i>Котельная в г. Кейла</i> .....	156
8.2.9.	<i>Котельная Peetri в г. Пайдэ</i> .....	159
8.3.	ИТОГИ ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОТОПЛИВА В ЭСТОНИИ .....	162
8.3.1.	<i>Нагрузка котлов и удельный расход топлива</i> .....	162
8.3.2.	<i>Риски внедрения биотоплива</i> .....	163
8.3.3.	<i>Выводы и рекомендации</i> .....	165
<b>9.</b>	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ .....</b>	<b>167</b>
9.1.	Единицы измерения .....	167
9.2.	Технические условия и классификация биотоплив и торфяных топлив .....	168
9.3.	Таблицы данных, наиболее употребляемых на практике .....	178
<b>10.</b>	<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>181</b>

## ТАБЛИЦЫ

Таблица 1.1. Внутреннее энергопотребление брутто и использование возобновляемых источников и биомассы в 2002 г. [8].....	21
Таблица 1.2. Площади леса и других лесистых земель в ЕС[9], [10].....	22
Таблица 2.1. Элементарный состав дерева [12].....	30
Таблица 2.2. Влажность отдельных частей хвойных пород, [12] .....	31
Таблица 2.3. Низшая теплота сгорания сухой массы наиболее распространенных типов дерева, $Q^C_H$ , МДж/кг [19].....	33
Таблица 2.4. Плавкостные характеристики древесной золы [12].....	35
Таблица 2.5. Элементарный состав сухой соломы[12] .....	36
Таблица 2.6. Плавкостные характеристики золы соломы зерновых [12] .....	36
Таблица 2.7. Зольность и теплота сгорания соломы различных зерновых [12] .....	37
Таблица 2.8. Влияние степени разложения торфа на состав рабочей массы в % [12] ..	38
Таблица 2.9. Влияние степени разложения торфа на состав сухой части в % [12] .....	38
Таблица 2.10. Средние показатели свойств фрезерного и кускового торфа по данным VTT [12] .....	39
Таблица 2.11. Плавкостные характеристики золы торфа по данным VTT и Varo [12] ...	39
Таблица 2.12. Типичные показатели торговых форм биотоплив .....	41
Таблица 2.13. Классы качества древесных высококачественных брикетов для индивидуальных потребителей.....	42
Таблица 2.14. Классы качества древесных высококачественных пеллетов для индивидуальных потребителей.....	42
Таблица 2.15. Наиболее распространенные торговые формы торфа [25] .....	43
Таблица 3.1. Поступление древесины из хвойных лесов Финляндии [27] .....	46
Таблица 3.2. Потеря минеральных веществ за 70-летний период ротации при различных технологиях [28].....	46
Таблица 3.3. Изменение качества отходов рубки при хранении [32].....	65
Таблица 3.4. Изменение качества щепы при хранении [32] .....	66
Таблица 4.1. Значения $CO_{2,max}$ для некоторых видов топлив .....	77
Таблица 4.2. Характерные мощности котлов при различных способах сжигания в Финляндии [55].....	78
Таблица 4.3. Классификация котлов в зависимости от области их применения [55].....	78
Таблица 5.1. Пригодность разгрузочных устройств склада для твердых топлив .....	103
Таблица 5.2. Пригодность различных конвейеров для твердого топлива .....	104
Таблица 6.1. Предельные значения выбросов диоксида серы для действующих установок, сжигающих твердое топливо .....	106

Таблица 6.2. Предельные значения выбросов диоксида серы для новых установок, сжигающих биомассу .....	107
Таблица 6.3. Предельные значения выбросов диоксида азота для действующих установок, сжигающих твердое топливо .....	107
Таблица 6.4. Предельные значения выбросов диоксида азота для новых установок, сжигающих биомассу .....	107
Таблица 6.5. Предельные значения выбросов твердых частиц для действующих установок, сжигающих твердое топливо .....	107
Таблица 6.6. Предельные значения выбросов твердых частиц для новых установок, сжигающих твердое топливо .....	107
Таблица 6.7. Предельные значения выбросов в Австрии для котлов на древесном топливе .....	108
Таблица 6.8. Требования знака экологичности в Северных странах к котлам на твердом топливе ( $\text{мг/м}^3$ ) .....	108
Таблица 6.9. Предельные выбросы для финских малых котлов (< 50 кВт) на древесном топливе, где внедрены лучшие существующие технологии. ....	109
Таблица 6.10. Предельные значения выбросов( $\text{г/м}^3$ , при 10% содержании $\text{O}_2$ ) для котлов мощностью до 300кВт (согласно стандарту EN 303-5) .....	109
Таблица 6.11. Рабочие показатели газоочистного оборудования .....	110
Таблица 7.1. Ориентировочная территория, необходимая для котельных, работающих на биотопливе [64] .....	122
Таблица 7.2. Сравнение древесного топлива в зависимости от аспекта применения .	122
Таблица 8.1. Основные статистические данные по котлам на древесине и торфе в Эстонии [65] .....	127
Таблица 9.1. Преобразование единиц энергии .....	167
Таблица 9.2. Кратные единицы .....	167
Таблица 9.3. Технические условия и классы качества древесной щепы [23] .....	168
Таблица 9.4. Технические условия и классы качества брикетов [23] .....	169
Таблица 9.5. Технические условия и классы качества пеллетов [23] .....	171
Таблица 9.6. Технические условия и классы качества древесной коры [23] .....	173
Таблица 9.7. Технические условия и классы качества дров (древесных поленьев) [23] ...	174
Таблица 9.8. Технические условия и классы качества прессованной соломы [23] .....	176
Таблица 9.9. Технические условия и классы качества древесных опилок [23] .....	177
Таблица 9.10. Низшая теплота сгорания дров на рабочую массу $Q^P_H$ , МВт ч/кг (при средней теплоте сгорания на горючую часть 19,2 МДж/кг) .....	178
Таблица 9.11. Типичные свойства воздушно-сухих поленьев [47] .....	180
Таблица 9.12. Классификация шведских пеллетов SS 187120 [12] .....	180

## РИСУНКИ

Рис. 1.1. Биомасса для выработки энергии в 2002 г.....	22
Рис. 1.2. Доля лесов в 2002 г. (% от всей территории).....	23
Рис. 2.1. Деление древесного топлива на типы по происхождению сырья.....	29
Рис. 2.2. Типы древесного топлива в зависимости от степени улучшения.....	30
Рис. 2.3. Компоненты твердого топлива.....	31
Рис. 2.4. Сравнение теплоты сгорания влажного древесного топлива, отнесенной к рабочей массе и сухой части топлива.....	34
Рис. 2.5. Изменение формы стандартного конуса при его нагревании.....	34
Рис. 2.6. Фрезерный торф.....	38
Рис. 2.7. Кусковой торф.....	38
Рис. 3.1. Распределение биомассы дерева [27].....	45
Рис. 3.2. Сухая масса и теплота сгорания пней в зависимости от их диаметра [27].....	46
Рис. 3.3. Технология стволовой щепы.....	47
Рис. 3.4. Резка и подборка стволов при рубках ухода (фото П. Муйсте).....	48
Рис. 3.5. Измельчение стволов (фото П. Муйсте).....	48
Рис. 3.6. Куча необрубленных тонких стволов (фото П. Муйсте).....	48
Рис. 3.7. Производство щепы из отходов рубки.....	49
Рис. 3.8. Использование сучьев для укрепления путей вывоза.....	49
Рис. 3.9. В ходе вырубki желательнo обрубленные сучья складывать отдельно.....	50
Рис. 3.10. Сбор и измельчение отходов на лесосеке мобильным измельчителем, перевозка контейнерами.....	50
Рис. 3.11. Сбор и измельчение отходов рубки мобильным измельчителем Chipset 536С (фото П. Муйсте).....	51
Рис. 3.12. Опорожнение контейнера мобильного измельчителя (фото П. Муйсте).....	51
Рис. 3.13. Подъем полного контейнера на тягач (фото П. Муйсте).....	51
Рис. 3.14. Измельчение отходов рубки на промежуточном складе.....	52
Рис. 3.15. Сбор отходов на лесосеке (фото П. Муйсте).....	53
Рис. 3.16. Возможности приспособить лесной трактор для перевозки отходов рубки [32].....	53
Рис. 3.17. Складирование отходов рубки (фото П. Муйсте).....	53
Рис. 3.18. Склад отходов рубки под водостойкой бумагой (фото П. Муйсте).....	53
Рис. 3.19. Измельчение отходов рубки (фото П. Муйсте).....	53
Рис. 3.20. Перевозка щепы контейнеровозом (фото П. Муйсте).....	53

Рис. 3.21. Перевозка щепы контейнеровозами.....	54
Рис. 3.22. Упаковка отходов рубки в вязанки, перевозка обычными форвардерами и лесовозами, измельчение в конечном складе .....	55
Рис. 3.23. Корчевание пней, сбор форвардером, перевозка спецтранспортом и измельчение в конечном складе.....	55
Рис. 3.24. Технология разделки дерева на части .....	56
Рис. 3.25. Технология вывоза деревьев с кроной.....	57
Рис. 3.26. Дисковый измельчитель .....	58
Рис. 3.27. Рабочий орган дискового измельчителя .....	58
Рис. 3.28. Барабанный измельчитель.....	58
Рис. 3.29. Рабочий орган барабанного измельчителя (фото П. Муйсте) .....	58
Рис. 3.30. Шнековый измельчитель .....	59
Рис. 3.31. Молотковая мельница.....	59
Рис. 3.32. Валковая дробилка.....	59
Рис. 3.33. Щековая дробилка.....	59
Рис. 3.34. Дисковый измельчитель Junkkari HJ 10 с приводом от сельхозтрактора [34]	60
Рис. 3.35. Мобильный подборщик щепы (фото П. Муйсте) .....	60
Рис. 3.36. Мобильный подборщик щепы, Silvatec 878 CH [35] (фото П. Муйсте) .....	60
Рис. 3.37. Мобильный подборщик щепы Chipset 536 C [36].....	61
Рис. 3.38. Мобильный подборщик щепы Erjofanten 7/65 (фото П. Муйсте).....	61
Рис. 3.39. Комбайн в качестве базовой машины [37] .....	61
Рис. 3.40. Экскаватор как база измельчителя (фото П. Муйсте).....	61
Рис. 3.41. На грузовике установлен измельчитель Giant [38].....	62
Рис. 3.42. Контейнеровоз с измельчителем Moha [38].....	62
Рис. 3.43. Дисковый измельчитель Morbark 30 на трейлере [39] .....	62
Рис. 3.44. Fiberpack 370 на выставке Elmia Wood 2001 (фото П. Муйсте) .....	62
Рис. 3.45. Timberjack 1490D [41] .....	63
Рис. 3.46 Valmet WoodPac [42].....	63
Рис. 3.47. Вязанки отходов рубки (фото П. Муйсте).....	63
Рис. 3.48. Для перевозки вязанок можно использовать обычный лесовозный прицеп (фото П. Муйсте) .....	63
Рис. 3.49. Конусный колун объединенный с окоривателем [43].....	64
Рис. 3.50. Машина Hakke Pilke Eagle с коническим колунуном и дисковой пилой [44] .....	64
Рис. 3.51. Клинообразные колунуны с гидроприводом [45].....	64
Рис. 3.52. Комбинированный колунуна Jara 2000 [46].....	64
Рис. 3.53. Собирающие головки Timberjack 720 ja Timberjack 730 [41].....	65

Рис. 3.54. Поршневой пресс.....	67
Рис. 3.55. Шнековый пресс.....	67
Рис. 3.56. Цилиндрический матричный пресс .....	68
Рис. 3.57. Плоскоматричный пресс .....	68
Рис. 3.58. Цилиндрическая матрица (фото П. Муйсте) .....	68
Рис. 3.59. Схема снабжения пеллетами .....	69
Рис. 3.60. Подбор соломы, измельчение и погрузка в транспорт [50] .....	69
Рис. 3.61. Подбор валков и прессование в крупные тюки, около 500 кг каждый [50] .....	69
Рис. 3.62. Погрузка тюков смонтированным на тракторе фронтальным подъемником [50].....	70
Рис. 3.63. Крепление тюков ремнями, необходимое для обеспечения устойчивости груза при перевозке [50].....	70
Рис. 3.64. Удаление растительности и выравнивание площадки агрегатом RT-6.0H финской фирмы Suokone OY .....	70
Рис. 3.65. Прессование осушающих канав в почве торфяника агрегатом OJ-1.3K финской фирмы Suokone OY .....	71
Рис. 3.66. Фрезирование массы торфа из торфяника и прессование кускового торфа агрегатом PK-1S финской фирмы Suokone OY .....	71
Рис. 3.67. Волнообразно прессованный кусковой торф, имеющий минимальный контакт с поверхностью болота и быстрее сохнувший.....	72
Рис. 4.1. Простейшая схема размещения оборудования в котельной на биотопливе, Thermia OY, Финляндия .....	73
Рис. 4.2. Зоны горения влажного биотоплива на наклонной решетке .....	74
Рис. 4.3. Предтопка с конусной решеткой и нижней подачей топлива для сжигания высоко влажного топлива фирмы SERMET, Финляндия .....	79
Рис. 4.4. Топка фирмы Hotab (Швеция), решетка которой состоит из неподвижной наклонной решетки и механизированной части .....	79
Рис. 4.5. Топка TRF с движущимися в шахматном порядке элементами решетки шведской фирмы KMW ENERGI AB .....	80
Рис. 4.6. Запатентованная Wärtsilä топка BioGrate с конусной решеткой и с нижней подачей топлива .....	81
Рис. 4.7. Комплексное котельное оборудование типа PMA мощностью 1 – 10 МВт для сжигания твердого топлива фирмы Putkimaа OY, Финляндия.....	81
Рис. 4.8. Цепная решетка котла ТЭЦ Бурос, Швеция.....	82
Рис. 4.9. Принципиальные схемы топок с пузырьковым (А) и циркулирующим (В) кипящим слоем .....	83
Рис. 4.10. Котел с кипящим слоем и дымогарными трубами типа PML фирмы Putkimaа OY, Финляндия .....	84
Рис. 4.11. Принципиальные схемы газификационных реакторов: противоточная (А) и прямоточная (В).....	85



Рис. 4.12. Газификационный реактор Novel мощностью 1 – 10 МВт фирмы Condens OY, Финляндия.....	86
Рис. 4.13. Принципиальная схема топки для сжигания целых тюков соломы .....	86
Рис. 4.14. Автоматизированная система сжигания соломы с предварительным измельчением тюков [50].....	87
Рис. 4.15. Метод сжигания «сигарного» типа с непрерывной последовательной подачей цельных тюков соломы [50].....	87
Рис. 4.16. Технологическая схема системы сжигания пеллетов [62].....	88
Рис. 4.17. Технологические решения питания и сжигания пеллетов.....	88
Рис. 4.18. Горелка для пеллетов EcoTec 300 кВт, Швеция.....	89
Рис. 4.19. Схемы горелок для твердого сухого (верхний рисунок) и влажного (нижний) топлива, разработанные в Таллинском техническом университете .....	89
Рис. 4.20. Горелка для твердого топлива, разработанная в Таллинском техническом университете, с универсальным котлом мощностью 240 кВт.....	89
Рис. 4.21. Котел с верхним горением австрийской фирмы Eder.....	91
Рис. 4.22. Котел с нижним горением Arimax, HÖGFORS LÄMPÖ OY, Финляндия.....	92
Рис. 4.23. Котел с обратным горением EXONOM A25 BX MILJÖ фирмы EURONOM, Швеция .....	92
Рис. 4.24. Котел с обратным горением DRAGON фирмы GRIM GmbH, Австрия .....	93
Рис. 4.25. Двойной котел Jätmä Kaksikko фирмы JÄMÄTEK ky, Финляндия .....	94
Рис. 4.26. Горелка для пеллетов Iwabo Villa S.....	95
Рис. 4.27. Малый котел Malle (20 кВт) с горелкой для пеллетов и системой подачи пеллетов.....	95
Рис. 4.28. Малый котел Pelle, разработанный в Таллинском техническом университете, с бункером пеллетов, питательным оборудованием и горелкой для пеллетов Iwabo Villa.....	95
Рис. 5.1. Сравнение насыпного объема топлив.....	98
Рис. 5.2. Промежуточный топливный склад (фото Ю. Каськ).....	99
Рис. 5.3. Автопогрузчик с фронтальным ковшом (фото Ю. Каськ).....	99
Рис. 5.4. Грейферный кран (фото Ю. Каськ) .....	100
Рис. 5.5. Склад твердого топлива со скребками .....	101
Рис. 5.6. Гидроцилиндры привода скребков (Saxlund).....	101
Рис. 5.7. Склад твердого топлива с цепными скребками (фото вверху Ю. Каськ) .....	102
Рис. 5.8. Винтовой транспортер на дне склада.....	102
Рис. 5.9. Бункер снабженный гидроротором (Saxlund).....	103
Рис. 6.1. Мультициклон .....	111
Рис. 6.2. Тканевый фильтр с импульсной очисткой.....	111
Рис. 6.3. Электрофильтр .....	112

Рис. 6.4. Влияние конденсации дымовых газов на эффективность котельной .....	113
Рис. 6.5. Секторный затвор (Saxlund).....	113
Рис. 6.6. Скребок транспортер (Saxlund).....	114
Рис. 6.7. Золотые контейнеры, дымовая труба и дымосос в котельной Vöðusoo (фото Ю. Каськ) .....	114
Рис. 7.1. График нагрузки .....	119
Рис. 8.1. Изменение количества и средней мощности котлов на биотопливе и торфе	128
Рис. 8.2. Развитие суммарной мощности и выработки тепла котлов на древесине и торфе .....	128
Рис. 8.3. Изменение расчетной продолжительности эксплуатации котлов на древесине и торфе .....	128
Рис. 8.4. Средний коэффициент полезного действия котлов на древесине и торфе, рассчитанный на основе статистических данных.....	129
Рис. 8.5. Решетка для сжигания древесной щепы и фрезерного торфа, установленная на котле типа ДКВР-4-13, работающем ранее на мазуте .....	131
Рис. 8.6. Монтаж комплексной котельной установки в котельной Tehníka (фото В. Варес) .....	133
Рис. 8.7. Щит управления котла на биотопливе в котельной Tehníka (фото Ю. Каськ)	133
Рис. 8.8. Прочные золотые отложения на арке (фото Ю. Каськ) .....	134
Рис. 8.9. Топливный склад котельной Tehníka (фото Ю. Каськ).....	135
Рис. 8.10. Топливо равномерно распределяется автоматическим грейфером (фото Ю. Каськ).....	135
Рис. 8.11. Древесная щепа, измельченная молотковой дробилкой (фото Ю. Каськ)....	135
Рис. 8.12. Разрушение основания дымовой трубы (фото Ю. Каськ).....	136
Рис. 8.13. Новые колосники, изготовленные на заводе в г Тарту (фото Ю. Каськ) .....	137
Рис. 8.14. Колосник, отработавший 1 год (фото Ю. Каськ) .....	137
Рис. 8.15. Колосник с прогоревшим торцом (фото Ю. Каськ) .....	137
Рис. 8.16. Газоход, соединяющий предтопку с котлом (фото Ю. Каськ).....	138
Рис. 8.17. Канал третичного воздуха (фото Ю. Каськ) .....	138
Рис. 8.18. Погрузка топлива грейфером на складе котельной Aardla (фото Ю. Каськ).	139
Рис. 8.19. Трубопроводы, препятствующие строительству транспортера топлива в котельную (фото Ю. Каськ).....	139
Рис. 8.20. Удаленные из топлива камни (фото Ю. Каськ) .....	140
Рис. 8.21. Котлы типа ДЕ в котельной Vöðusoo, вид с тыла (фото Ю. Каськ).....	141
Рис. 8.22. Предтопок, установленная в котельную Vöðusoo (фото Ю. Каськ) .....	141
Рис. 8.23. Место установки дополнительной мазутной горелки (фото Ю. Каськ).....	142
Рис. 8.24. Часть топливного склада котельной Vöðusoo с движущимся штанговым толкателем (фото Ю. Каськ).....	143

Рис. 8.25. Куски металла, обнаруженные в топливе и золе (фото Ю. Каськ) .....	143
Рис. 8.26. Фронт реконструированного котла типа ДКВР (фото Ю. Каськ) .....	144
Рис. 8.27. Компьютер управления работой котла на биотопливе и всей котельной (фото Ю. Каськ) .....	145
Рис. 8.28. Погрузка топлива на складе котельной Männimäe (фото Ю. Каськ).....	146
Рис. 8.29. Приваренный торец гидравлического цилиндра (фото Ю. Каськ).....	146
Рис. 8.30. Плакат с технологической схемой котельной Vabriku (фото Ю. Каськ).....	148
Рис. 8.31. Трактор для подачи топлива (фото Ю. Каськ) .....	149
Рис. 8.32. Мостовой кран с грейфером (фото Ю. Каськ).....	152
Рис. 8.33. Котельная в Хаапсалу после реконструкции (фото Ю. Каськ) .....	154
Рис. 8.34. Загрузка топлива на складе котельной в Хаапсалу (фото Ю. Каськ) .....	155
Рис. 8.35. Примеры удаленных из топлива включений и неизмельченных кусков древесины (фото Ю. Каськ).....	156
Рис. 8.36. Основание мультициклона и бетонированная крышка канала (фото Ю. Каськ) .....	156
Рис. 8.37. Предтопок в котельной г. Кейла (фото Ю. Каськ).....	157
Рис. 8.38. Мостовой кран с изготовленным в Эстонии грейфером (фото Ю. Каськ).....	158
Рис. 8.39. Застой топлива вблизи стенок (фото Ю. Каськ) .....	158
Рис. 8.40. Кусок отложений, удаленный из топки (фото Ю. Каськ) .....	159
Рис. 8.41. Мультициклон и транспортер золы (фото Ю. Каськ).....	159
Рис. 8.42. Работающая на биотопливе котельная Peetri в Пайде (фото Ю. Каськ) .....	160
Рис. 8.43. Технологическая схема с рабочими параметрами котельной Peetri на экране компьютера управления (фото Ю. Каськ) .....	160
Рис. 8.44. Расчетная продолжительность эксплуатации котлов на биотопливе в 2004 году .....	162
Рис. 8.45. Удельный расход биотоплива в 2004 г.....	163



## 1. ВВЕДЕНИЕ

Использование биотоплива последние годы непрерывно расширялось. Современные технологии производства и сжигания биотоплива позволяют эффективно использовать практически все отходы лесной и деревообрабатывающей промышленности. Все более широкое применение находит травянистая биомасса, например, солома.

Существенную роль в развитии и применении технологий использования биотоплива играют страны региона Балтийского моря. Настоящий Справочник представляет накопленный в этих странах опыт практического применения современных технологий в сфере биотоплив. Показана вся технологическая цепочка, начиная с заготовки топлива в лесу или на поле и кончая очисткой дымовых газов и утилизацией золы. Дополнительно рассматривается и использование торфа.

Справочник должен стать полезным всем, кто уже использует биотопливо или намерен делать это в будущем. Поскольку авторы – инженеры, основной упор делается на технологические аспекты, однако много внимания уделено и материалам, полезным при планировании использования биотоплива и подготовке проектов. С этой целью приводится короткий вводный обзор роли биотоплива в странах Балтийского региона и энергетической политике ЕС. Читатели, желающие получить дополнительные сведения по проблеме использования биотоплива, могут обратиться, например, к следующим изданиям на русском языке [1 – 6].

Авторы Справочника: Виллу Варес, Юло Каск, Тыну Пиху и Сулев Соосар из Таллиннского технического университета и Пеэтер Муйсте из Эстонского сельскохозяйственного университета. Редактор Справочника – Виллу Варес.

Русский текст Справочника подготовили Иван Клевцов, Татьяна Бояринова, Дмитрий Нешумаев и Андрей Дедов из

### 1.1. Развитие энергетической политики в ЕС и странах Балтийского региона

Ниже приведен краткий обзор различных аспектов, представленных в наиболее важных документах ЕС в области энергетической политики, непосредственно или косвенно связанных с биотопливами.

Первым шагом в развитии общей стратегии использования возобновляемых энергетических ресурсов ЕС была Зеленая книга<sup>1</sup>. Стратегия в целом, наряду с предложенными мерами, была сосредоточена на достижении к 2010 г. доли возобновляемых источников энергии 12%, то есть доля должна быть вдвое выше, чем в отправной точке (1995 г.). Достижение доли 12% к 2010 году выглядит довольно амбициозной, но достижимой целью, связанной с политической, а не юридической ответственностью. Для ее достижения все страны ЕС должны выработать собственные стратегии. Следует также принять во внимание, что в 6% доле в отправной точке был существенный вклад больших гидроэлектростанций. Потенциал для строительства новых крупномасштабных гидроэлектростанций в Европе довольно ограничен. Тем больше должно быть расширено использование других возобновляемых источников энергии.

Довольно быстро был сделан следующий шаг – в конце 1997 было издано сообщение Комиссии, под названием “Энергия будущего: возобновляемые источники энергии – единая стратегия и программа. Белая Книга”<sup>2</sup>. Во введении заявлено, что ресурсы возобновляемой энергии в странах ЕС распределены,

<sup>1</sup> Документ Европейской Комиссии COM (96) 576

<sup>2</sup> Документ Европейской Комиссии COM (97) 599, 26.11.1997

конечно, неравномерно, однако даже источники, доступные в изобилии и использование которых экономически оправдано, все еще используются довольно слабо.

В 1995 г. страны ЕС до 50% зависели от импорта энергии. Если не принять никаких мер по более широкому использованию местных ресурсов, зависимость ЕС от импорта энергии к 2020 г. достигнет уже 70%. Так как возобновляемые ресурсы в каждой стране местные, их развертывание уменьшило бы зависимость от импорта энергии и увеличило надежность снабжения. Кроме того, использование возобновляемых энергоресурсов даст работу местным мелким и средним предприятиям, способствуя таким образом развитию региона.

В результате технологического развития последних лет биомасса (наряду с небольшими гидро- и ветроэлектростанциями) оценивается конкурентоспособной на рынке в сравнении с другими вариантами децентрализованного энергоснабжения. Потребность в высоких начальных инвестициях является одним из наиболее серьезных препятствий в развертывании возобновляемых ресурсов. Существенное препятствие и то, что стоимость традиционных топлив не учитывает всех затрат, которые несет общество при их потреблении, в том числе затрат вне топливного сектора, действующих в течение всего цикла добычи и использования топлива.

Признано необходимым принять некоторые финансовые послабления, способствующие внедрению возобновляемых ресурсов:

- гибкая амортизация инвестиций в сферу возобновляемой энергии;
- налоговые скидки третьим лицам, финансирующим возобновляемую энергию;
- предоставление субсидий для строительства котельных, использующих возобновляемую энергию;

- финансовые стимулы для клиентов на покупку оборудования и услуг возобновляемой энергии;
- учреждение "зеленых" фондов для поддержки рынков капитала, финансируемых из частных банков;
- учреждение национальных фондов для поддержки возобновляемой энергии;
- обеспечение "мягких" ссуд.

Крайне важной признана замена ископаемых топлив твердыми биотопливами или их совместное сжигание, дальнейшее улучшение топлив (пеллетов, брикетов) и более широкое использование лесных и прочих отходов. Более широкое использование биотоплив объединено со стратегией ЕС по совместной выработке тепловой и электрической энергии. В эту категорию к 2010 г. должно попасть использование трети новой дополнительной биомассы.

Сельское хозяйство рассматривалось как ключевой сектор в достижении целей, связанных с возобновляемыми ресурсами энергии. Было отмечено, что использование возобновляемых ресурсов энергии в свою очередь может содействовать развитию сельского хозяйства, что весьма для него важно. Поэтому было рекомендовано государствам членам ЕС дать высокий приоритет проектам возобновляемой энергии в сельских районах:

- чтобы поддержать использование биотоплив в рамках программ развития сельских районов;
- чтобы поддержать регионы, участвуя в финансировании инновативных демо- и прикладных проектов, например, совместной выработке тепловой и электрической энергии на базе солнечной и ветряной энергии и биомассе.

Использование биомассы рассматривалось как наиболее перспективный выбор для выработки биоэнергии. Задача кампании по использованию биомассы в совместной выработке тепловой и электрической энергии состоит в том,

чтобы поощрить и поддержать строительство работающих на биомассе децентрализованных электростанций по всему ЕС. Это касается оборудования и электростанций мощностью от нескольких сотен кВт до нескольких МВт, в зависимости от местных условий может использоваться широкий диапазон технологий. Задача кампании в части биомассы – увеличить мощности до 10 ГВт, что даст увеличение выработки на базе биомассы тепла с 38 Мтнэ<sup>3</sup> в 1995 г. до 75 Мтнэ к 2010 г.

В последующие годы актуальность более широкой эксплуатации ресурсов возобновляемой энергии снизилась. В следующем документе, формирующем энергетическую политику, в “Зеленой книге: К Европейской стратегии по безопасности энергоснабжения”, Комиссия снова выдвинула эту тему на первый план [7]. Здесь говорится, что запасы всех традиционных ресурсов энергии в ЕС ограничены, и их доля в удовлетворении спроса на энергию сокращается как в относительных, так и в абсолютных величинах. Потенциальное изобилие имеется только у возобновляемых источников. Поэтому для уменьшения зависимости от импорта большие надежды возлагают на использование высокотехнологичных возобновляемых ресурсов.

Было также подчеркнуто, что с точки зрения безопасности снабжения потенциал ресурсов возобновляемой энергии в ЕС значителен, но содействие использованию этого потенциала сильно зависит от политических и экономических тенденций, которые могут быть успешны только в случае, когда для выполнения политики будут применены экономические меры. В этом случае возобновляемые ресурсы были бы единственным ресурсом, который ЕС мог бы использовать с определенной гибкостью и потенциалом для маневра в ближайшем будущем.

---

<sup>3</sup> тнэ – тонна нефтяного эквивалента (см. Таблица 9.1). Мтнэ = 10<sup>6</sup> тнэ

Критическое замечание: успех ЕС в использовании возобновляемых ресурсов энергии весьма скромнен. Цель удвоить долю возобновляемых ресурсов энергии в выработке электроэнергии, устанавливаемая регулярно начиная с 1985 г., не была достигнута. Подчеркнуто, что несмотря на увеличение выработки энергии из возобновляемых ресурсов (в среднем на 3% в год), их доля не превысила 6%, потому что суммарное потребление энергии росло более быстро. Отмечен, однако, быстрый рост (больше чем на 2000% в течение десятилетия) использования энергии ветра.

Анализ использования возобновляемых ресурсов энергии показывает, что в Европе возможности расширения крупномасштабной гидроэнергетики, которая составляет в настоящее время треть всей возобновляемой энергии, в будущем фактически нулевые. Сделан вывод, что главный рост возможен благодаря использованию биомассы и биотоплив.

Рассмотрение факторов, препятствующих использованию возобновляемых ресурсов, показывает, что проблемы связаны с характером уже существующих структур, то есть общественные, экономические и социальные системы были построены на централизованном развитии обычных источников энергии (уголь, нефть, природный газ и ядерная энергия). Финансовые проблемы выделены как наиболее существенное препятствие, потому что использование возобновляемых ресурсов нуждается в больших начальных инвестициях. При этом использование возобновляемых ресурсов может потребовать относительно длительного срока окупаемости.

Особо подчеркивается необходимость применения принципа дополнения. Это означает гибкое комбинирование государственных, региональных и местных интересов, чтобы отдать предпочтение использованию возобновляемых ресурсов. Характер средств, применяемых в государствах членах ЕС, меняется от

исследовательских грантов или некоторых финансовых рычагов (низкопроцентные ссуды, гарантийные фонды и т.д.) до финансовых мер по прямой поддержке использования возобновляемых ресурсов и обязательства закупки в определенных количествах “возобновляемой” электроэнергии.

Следующий шаг к использованию возобновляемой энергии в ЕС – Директивы, которые устанавливают задачи по выработке электроэнергии из возобновляемых источников (2001/77/ЕС) и содействуют использованию биотоплив на транспорте (2003/30/ЕС). Дальнейшее развитие использования биомассы для производства тепла косвенно поддержано Директивой 2004/8/ЕС, стимулирующей совместную выработку тепла и электроэнергии. Определенное требование по предпочтению возобновляемых ресурсов энергии выражено также в Директиве 2002/91/ЕС по энергетическим характеристикам зданий. Для новых зданий общей площадью более 1000 м<sup>2</sup> государства члены ЕС должны гарантировать, что до начала строительства рассмотрена и принята в расчет техническая, природоохранная и экономическая применимость децентрализованных систем энергоснабжения, базирующихся на возобновляемых источниках энергии.

Новое правило налогообложения, которое государства члены ЕС согласно Директиве 2003/96/ЕС приняли с 1 января 2004 г., выражает, в некоторой степени более конкретно, благоприятное воздействие использования биотоплив на налогообложение. Этой Директивой налогообложение энергетической продукции в пределах ЕС было реструктурировано расширением спецификации облагаемых акцизом энергоносителей, от жидких топлив до твердых, природного газа и электроэнергии. Согласно новой Директиве уголь и кокс облагаются налогом, другие твердые топлива, включая древесину и торф, не облагаются. Новые возможности для расширения использования биотоплив

появляются благодаря новой системе торговли квотами на выбросы парниковых газов в Европейском Союзе (Директива 2003/87/ЕС).

Несмотря на большое внимание, уделяемое возобновляемым ресурсам энергии, использованию биомассы для производства тепла особого внимания уделено не было. Начиная с 2001 г. были предложения создать документ, подобный директиве о выработке электроэнергии на базе возобновляемых ресурсов, касающийся снабжения теплом (и охлаждения), но до сих пор не был составлен даже проект этой директивы. Однако выработка тепла из возобновляемых источников энергии становится все более актуальной как в целом по ЕС, так и в некоторых государствах членах. Определенное воздействие оказывает Киотский протокол о сокращении выброса парниковых газов. Наряду с необходимостью уменьшить возрастающую зависимость от импорта энергии и достичь устойчивого развития это главные движущие факторы в использовании возобновляемых источников энергии в ЕС. Последний анализ<sup>4</sup> показал, что если цели, принятые для производства возобновляемых ресурсов и жидких биотоплив будут выполнены, то доля возобновляемых ресурсов в ЕС к 2010 г. достигнет только 10% вместо запланированных 12%. Однако на практике нет уверенности и в том, что эти цели будут достигнуты, и поэтому доля возобновляемых источников энергии может остаться даже ниже, если существующие тенденции развития сохранятся.

Европейская комиссия инициировала подготовку плана использования биомассы. Поскольку до намеченного срока осталось мало времени, в оставшиеся годы предполагается применять силовые методы и напряженную программу по использованию биомассы

---

<sup>4</sup> Сообщение Европейской Комиссии COM (2004) 366, заключительное



в трех сферах – производстве электроэнергии, теплоснабжении (и охлаждении) и на транспорте. Намечено охватить ресурсы лесного и сельского хозяйства и отходы. График подготовки напряженный: анализ действий закончить в марте 2005 г., пилотный проект подготовить к июлю 2005 г., чтобы получить одобрение комиссии в четвертом квартале 2005 г.

## 1.2. Использование биомассы и ресурсов леса в странах Балтии

Согласно *Eurostat* возобновляемые источники в 2002 г. покрыли 5,7% внутреннего потребления брутто в странах ЕС25. Биомасса дала почти две трети

возобновляемой энергии (65,4% или 3,7% потребления брутто). Почти во всех странах Балтии доля биомассы во внутреннем потреблении энергии брутто выше, чем в среднем по ЕС, ниже среднего только в Германии (2,1%). Традиционно биомасса широко использовалась в Финляндии и Швеции. В Финляндии биомасса дает почти пятую часть (19,6%) энергии, и около половины требуемого тепла произведено из древесных топлив. В Швеции биомасса дает 16,1% от полного потребления энергии. В Латвии доля биомассы самая высокая (30,3%), это самый высокий процент в расширенном ЕС (EC25).

Таблица 1.1. Внутреннее энергопотребление брутто и использование возобновляемых источников и биомассы в 2002 г. [8]

	Внутреннее потребление брутто	Возобновляемые источники	Биомасса	Возобновляемые / Внутреннее потребление	Биомасса/Внутреннее потребление	Биомасса/Возобновляемые
	Мтнэ			Доля		
Расширенный ЕС, EC25	1676,9	94,9	62,1	5,7%	3,7%	65,4%
Старые страны ЕС, EC15	1475,4	85,3	53,9	5,8%	3,7%	63,2%
Дания, DK	19,8	2,5	2,0	12,5%	10,3%	82,5%
Германия, DE	343,7	10,6	7,1	3,1%	2,1%	66,9%
Эстония, EE	5,0	0,5	0,5	10,5%	10,5%	99,9%
Латвия, LV	4,2	1,5	1,3	35,3%	30,3%	85,8%
Литва, LT	8,7	0,7	0,7	7,9%	7,6%	95,6%
Польша, PL	88,8	4,2	4,0	4,7%	4,5%	95,0%
Финляндия, FI	35,1	7,8	6,9	22,2%	19,6%	88,1%
Швеция, SE	51,5	14,1	8,3	27,3%	16,1%	58,8%
Новые страны ЕС, EC10	201,5	9,7	8,2	4,8%	4,1%	84,8%

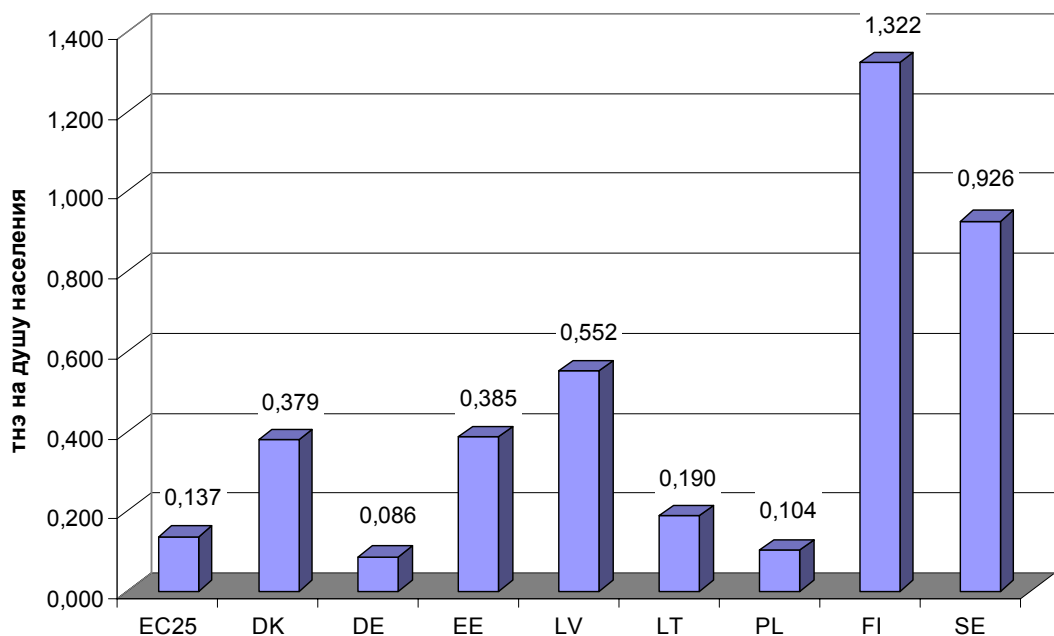


Рис. 1.1. Биомасса для выработки энергии в 2002 г.

Таблица 1.2. Площади леса и других лесистых земель в ЕС[9], [10]

Название страны и принятое сокращение	Площадь лесов	Площадь других лесистых земель	Всего	Производство кругляка (2002)	Производство кругляка / Площадь лесов
	1000 га			1000 м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> /га
Расширенный ЕС, EC25	137 060	23 211	160 271	350 263	2,56
Старые страны ЕС, EC15	113 567	22 637	136 204	264 386	2,33
Дания, DK	445	93	538	1 446	3,25
Германия, DE	10 740	–	10 740	42 380	3,95
Эстония, EE	2 016	146	2 162	10 500	5,21
Латвия, LV	2 884	471	3 355	13 467	4,67
Литва, LT	1 978	72	2 050	6 300	3,19
Польша, PL	8 942	–	8 942	27 170	3,04
Финляндия, FI	2 1883	885	22 768	53 011	2,42
Швеция, SE	27 264	2 995	30 259	67 500	2,48
Норвегия, NOR [11]	7 000	5 000	12 000	8 649	1,23
Новые страны ЕС, EC10	23 493	574	24 067	85 877	3,66

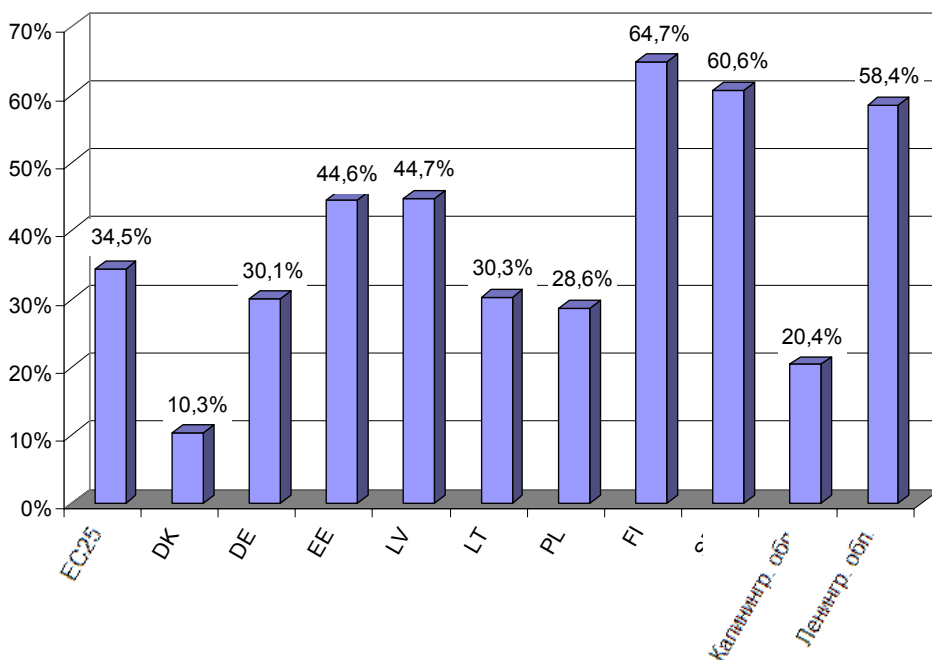


Рис. 1.2. Доля лесов в 2002 г. (% от всей территории)

### 1.2.1. Стимулирование использования биомассы для производства энергии

В ЕС используются различные меры, стимулирующие использование биомассы. Выбор мер зависит от страны и от особенностей технической инфраструктуры, природных ресурсов, промышленных традиций, а также от географического положения, климатических условий и политической воли. Главные рычаги можно классифицировать следующим образом:

- регулирование, основанное на рыночном механизме;
- освобождение от налогов;
- субсидии и гранты;
- специальные схемы финансирования.

В то время, как рыночное регулирование используется только для стимулирования выработки электроэнергии на базе возобновляемых источников, налоговая система позволяет влиять также на использование биомассы. Обычно это

означает или налогообложение только ископаемых топлив, или освобождение от налогов биотоплив при дифференцированном налогообложении всех топлив. Используется также комбинация этих двух вариантов (например, в Австрии, Швеции, Германии, Финляндии). В некоторых случаях инвестиции в биотоплива освобождаются от налогов (подходный налог или налог с оборота). Субсидии и гранты обычно используются для стимуляции перехода от ископаемых топлив к биомассе. Как специальные средства финансирования используются “мягкие” ссуды (с низким процентом или беспроцентные).

### 1.2.2. Региональная практика и опыт

В **Эстонии** в 2002 г. биомасса составила более чем 99% всей возобновляемой энергии. Древесное топливо составило 17,2% в выработке тепла. Около 80% древесины использовалось домашними хозяйствами (59%) и на предприятиях. Около 20% древесных топлив использовалось в центральном отоплении, и

эта доля растет. На предприятиях древесины была главным топливом в 900 котлах суммарной мощностью 798 МВт.

Прямые субсидии на использование биотоплив для выработки тепла отсутствуют. Несколько проектов перевода котлов на древесные топлива получили разовые субсидии в рамках международных двусторонних программ (например, со Швецией, Финляндией и Данией). В последние годы основная поддержка поступила от проектов совместного осуществления и структурных фондов ЕС.

В долгосрочном плане развития энергетического сектора поставлена цель увеличить долю возобновляемых источников в первичном балансе энергии до 13 – 15%. Существенное увеличение доли биомассы не предвидится, поскольку уже сегодня большинство первичной энергии от топливной древесины и отходов деревообработки используется в процессах преобразования энергии, главным образом для производства тепла. В некоторой степени может увеличиться использование отходов рубки. Из Эстонии ежегодно экспортируется почти 500 тыс. тонн щепы, главным образом как сырье для целлюлозной промышленности. Производят древесные брикеты и пеллеты (общее количество 210 тыс. тонн в год), главным образом (83%) на экспорт.

Эстония богата торфом – 1,7 млрд. тонн, в том числе 775 млн. тонн пригодного для использования, разрешенная норма добычи установлена в 2,78 млн. тонн в год. В 2003 г. торфа было извлечено 1 млн. тонн, включая 362 тыс. тонн энергетического торфа (248 тыс. тонн фрезерного торфа и 114 тыс. тонн кускового торфа). 27% фрезерного торфа и 98% кускового торфа использовали в центральном отоплении. Было произведено также 120 тыс. тонн торфяных брикетов, 84% на экспорт.

В **Литве** доля биомассы в первичном балансе энергии относительно низкая – 7,6%. Ежегодное использование древесного топлива – 3,4 млн. м<sup>3</sup>. Большая часть биомассы (70%) сжигается в виде топлива домашними хозяйствами. Только 12 – 15% биомассы используется в центральном отоплении. Мощность котлов, работающих на древесине, превышает 250 МВт. Начиная с 1994 г. производится щепа, используемая в больших (более 1 МВт) котельных. Производят древесные пеллеты (более 20 тыс. тонн в год) и брикеты (почти 100 тыс. тонн в год). Ресурсы торфа не велики (117 млн. тонн). Ежегодное производство торфа составляет 200 – 400 тыс. тонн, в том числе 46 – 85 тыс. тонн кускового торфа. В 2003 г. для выработки энергии использовали 49 тыс. тонн фрезерного торфа и 18 тыс. тонн кускового торфа. Производят также торфобрикеты, 10 – 15 тыс. тонн в год. Поставлена цель увеличить долю возобновляемой энергии к 2010 г. до 12%. Согласно существующим планам к 2010 г. предстоит увеличить использование древесных топлив примерно на 20% и использовать весь потенциал, пригодный для производства энергии (850 тыс. тнэ) к 2020 г.

**Латвия** из-за недостатка ресурсов должна импортировать 65 – 70% первичных источников энергии. Поэтому возобновляемые источники важны с точки зрения безопасности энергоснабжения и уменьшения зависимости от импорта. Доля древесных топлив в первичном балансе энергии существенна (27 – 28%). Большая часть биомассы (56,1%) используется домашними хозяйствами. Биомасса наряду с энергией ветра получила приоритет в выработке электроэнергии. Однако, тепло, произведенное из биомассы, уменьшалось за период 1997 – 2001 гг. в среднем на 6% в год. Было начато производство древесных пеллетов, производительность заводов достигает 100 тыс. тонн в год.

Ресурсы торфа в Латвии обширны – торфяники покрывают примерно 10% территории Латвии, полный запас торфа составляет около 1,5 млрд. тонн. В последние годы извлекалось по 500 тыс. тонн торфа ежегодно, но доля в первичном балансе энергии все еще невелика, 1,5 – 2,5%.

В **Польше** около 5% спроса первичной энергии покрыто возобновляемыми источниками, включая 95% биомассы (в 2002 г.). Почти 30% польской территории покрыто лесами, и эта доля должна возрасти, поскольку планируется засадить лесом пустоши. В энергии, произведенной из биомассы (твердые и жидкие топлива, биогаз, всего 104,2 ТДж, на древесной основе получено 85%. Согласно оценкам, древесные топлива, главным образом отходы древесины, используется примерно в 200 котельных центрального отопления и в 110 малых (< 500 кВт) котлах. Большая часть биомассы (более 60%) используется домашними хозяйствами. В последнее время было начато производство древесных пеллет, и теперь их выпуск превышает 150 тыс. тонн в год. Некоторые фонды предоставили гранты на проекты по возобновляемой энергии. В плане развития энергетического сектора (2000 г.) была поставлена задача увеличить долю возобновляемых источников в первичном балансе энергии к 2010 г. до 7,5% и к 2020 г. до 14%.

В **Швеции** 16% использованной первичной энергии получено из биомассы. Швеция (как и Финляндия) имеет самый продолжительный опыт использования древесных топлив. В Швеции использование возобновляемых источников поощрялось в течение целого ряда лет. На правительственном уровне поощрялось использование биомассы (наряду с другими возобновляемыми источниками). Высокий уровень налогообложения топлив и энергии в Швеции широко известен. Налоги, первоначально нацеленные на стимулирование использования и улучшение эффективности

возобновляемых источников, стали все более и более сосредоточиваться на защите окружающей среды. Топлива обложены налогами на энергию, CO<sub>2</sub> и серу. Например, налог на CO<sub>2</sub> основан на содержании углерода в топливе и находится в диапазоне 95 – 126 евро на тонну CO<sub>2</sub>. Биотоплива не облагаются налогами, только торф имеет налог на серу.

Биомасса дает около 60% возобновляемых ресурсов, главным образом, используемых для совместной выработки тепла и электроэнергии в центральном отоплении. Использование древесного топлива в центральном отоплении постоянно возрастало - в 1990-х рост был почти пятикратный (с 13 ПДж в 1990 г. до 65 ПДж в 2001). В 2002 г. среди топлив, используемых для центрального отопления, доля древесины была самой высокой (28%). Однако, большая часть биомассы (почти 60%) используется для прямого производства тепла, а не в центральном отоплении - в Швеции, около 400 тыс. семейных домов отапливаются древесиной.

Быстро развивается производство и использование древесных пеллет. Древесные пеллеты производят более 30 изготовителей: производительность 1,2 млн. тонн в год, ежегодное производство около 800 тыс. тонн. Кроме того, 310 тыс. тонн в 2004 г. было импортировано. Использование пеллет растет также быстро: в 2004 г. рост потребления был около 100 тыс. тонн, таким образом достигнут ежегодный уровень 1,25 млн. тонн. Пеллеты используются повсеместно: в маленьких домах (443 тыс. тонн), котельных центрального отопления средней мощности (151 тыс. тонн, рост потребления в 2004 г. - 20 %) и в больших ТЭЦ (656 тыс. тонн).

Залежи торфа в Швеции большие, и торф успешно используется в энергетике. В 2002 г. энергетического торфа было извлечено 2,9 млн. тонн: 1,3 млн. тонн кускового торфа и 1,6 млн. тонн фрезерного. Доля торфа среди топлив,

используемых для центрального отопления, была 6,5%.

В **Германии** доля биомассы в первичном потреблении энергии весьма низкая – 2,1%. Биомасса, главным образом в форме древесины и отходов древесины, а также биогаз, используются, в основном, домашними хозяйствами (57,1% от всей биомассы). Производство тепла из биомассы увеличивалось в период 1997 – 2001 гг. в среднем на 6,3% в год. В течение последних лет началось производство и использование древесных пеллетов; пеллеты также импортируются. Объем их, однако, в настоящее время весьма незначителен. Начиная с 1999 г. доступны субсидии для инвестиции в использование биомассы в производстве тепла. Ожидаемая доля биомассы в первичном потреблении энергии к 2010 г. составит 3%.

В **Финляндии** биомасса используется очень широко. До 1990-х использование древесины в центральном отоплении было несущественным. В течение последних десяти лет отопление древесиной выросло в несколько раз. Наиболее существенный рост был в ТЭЦ, где теперь сжигается до 30% биомассы. В производстве электроэнергии доля биомассы (около 10%) самая высокая в ЕС. В целом почти 20% национального потребления энергии покрыто биомассой. В 2003 г. потребление местных топлив на базе древесины составило 5,1 Мтнэ, почти половину которого составил черный щелок (47%), 21,6% - дрова и 31,4% - отходы древесины. Кроме того, 1,7 Мтнэ древесных топлив было импортировано, главным образом из России, Эстонии и Латвии. Использование черного щелка в бумажной промышленности составляет большую часть потребления биомассы. Домашние хозяйства используют около 15% всей биомассы.

В 1998 г. началось производство древесных пеллетов. Сегодня пеллеты производят более 10 фирм, общая мощность около 240 тыс. тонн в год. В 2003 г. было произведено 173 тыс. тонн пеллетов, из

них 77% (134 тыс. тонн) на экспорт (главным образом в Швецию и Данию). Из 39 тыс. тонн пеллетов, использованных в Финляндии, 37% (14,3 тыс. тонн) были сожжены в котлах мощностью менее 25 кВт. Согласно оценкам, древесные пеллеты использовались более чем в 3000 домах на одну семью, число клиентов быстро растет. Древесные брикеты производят десятки заводов и в 2003 г. вся продукция (35 тыс. тонн) была использована в Финляндии.

Быстрое развитие биоэнергетики достигнуто национальной энергетической политикой и поощрительным отношением местных органов власти. Более широкое использование биотоплив было поддержано налогообложением, основанным на содержании CO<sub>2</sub> топлив. Здесь Финляндия была пионером: налог на CO<sub>2</sub> был внедрен уже в 1990 г. Сегодня при производстве тепла из ископаемых топлив налог составляет 18,1 евро на тонну CO<sub>2</sub>, биотоплива от него освобождены. Для торфа налог ниже, а при ежегодном производстве тепла менее 25 ГВт·ч производители освобождены от налога. Кроме того, были проведены несколько стимулирующих программ, большинство из них связаны с региональным развитием и занятостью. Например, на проект возобновляемой энергии субсидию до 40% инвестиционной стоимости можно получить из некоторых фондов. Государство субсидирует производство древесного топлива при вырубке древесины (3,5 евро/МВт·ч) и производстве щепы из молодого леса (2 евро/МВт·ч). Хорошо нацеленная поддержка дала существенный результат: в течение последних лет число сжигающих щепу котлов увеличилось с 300 до 400. Только в 2004 г. сбор и использование щепы увеличились до 600 тыс. м<sup>3</sup>. Правительство в течение многих лет активно поддерживало работу по изучению и развитию возобновляемой энергии, особенно в сфере использования биомассы. Например, в 2004 г. государство субсидировало в

энергетический сектор 33,5 млн. евро, включая 17,6 млн. евро субсидий на использование древесины: 3,4 млн. евро на производство древесного топлива и 14,2 млн. евро на выработку энергии из древесины.

Залежи торфа в Финляндии обширны: 1100 Мтнэ, торфяники покрывают 28% территории страны. Доля торфа в балансе энергии в среднем 5 – 7% при значительном изменении в зависимости от погодных условий: в 2000 г. для производства энергии использовали 1,5 Мтнэ торфа, в 2004 г. – 2,4 Мтнэ. В центральном отоплении (включая ТЭЦ) доля торфа среди других топлив была 19%. До недавних пор торф главным образом использовался как основное топливо в торфяных котлах, в течение последних лет начало более широко распространяться сжигание смесей торфа и древесины. В Финляндии торф считается медленно возобновляемым биотопливом, при его использовании возможны некоторые скидки.

В Стратегии развития энергии (1999, 2002 г.) была поставлена цель увеличить использование возобновляемых источников к 2010 г. на 30% по сравнению с 2001 г. с ростом доли возобновляемых источников в первичном балансе энергии до 27%. Это увеличение должно быть достигнуто, в основном, за счет растущего использования биомассы, таким образом использование щепы предусмотрено увеличить почти втрое.

В **Дании** много внимания уделялось использованию возобновляемых источников для производства энергии уже в 1980-е и 1990-е. Начиная с 1992 г. государство поддерживало субсидиями и грантами до 30% инвестиций на переход от электростанций с котлами на ископаемых топливах к ТЭЦ, сжигающим биомассу. В тот же самый период ТЭЦ в сетях центрального отопления были обязаны сжигать солому (всего 1,2 млн. тонн в год) и щепу (0,2 млн. тонн в год). В 2002 г. 12,5% полного потребления было

покрыто возобновляемыми источниками, их доля в производстве электроэнергии превышала даже 20%. Биомасса стала преобладающим источником энергии в теплоснабжении, но из-за изменений в энергетической политике в 2002 и 2003 г. ее доля начала уменьшаться. Однако в течение ближайших лет ожидается новый рост. Большая часть биомассы (63%) в Дании используется для централизованного совместного производства тепла и электроэнергии. Остальная биомасса используется конечными пользователями, более 70% этой части - древесина, используемая в домашних хозяйствах.

Пеллеты в Дании также широко используются. Уже в 1991 г. их потребление превысило 100 тыс. тонн в год. Быстрое развитие было в 2000 – 2002 гг., когда потребление пеллетов увеличилось более чем на 100 тыс. тонн. В 2003 г. произошел резкий скачок потребления, еще на 200 тыс. тонн, и достиг 600 тыс. тонн в год. Поскольку местный ресурс недостаточен для производства около 150 тыс. тонн пеллетов, остальные сырье и пеллеты импортированы из Швеции, Финляндии, стран Балтии и даже из Северной Америки.

**Россия** богата древесными ресурсами. Почти 25% мировых лесов расположено на территории Российской Федерации. Северо-запад России, включая Карелию, имеет самый высокий в России процент леса.

В Ленинградской области 4,9 млн. га земли принадлежит лесному фонду России, древесный запас оценен в 865 млн. м<sup>3</sup>. Сейчас используются около 6 млн. м<sup>3</sup> дров и древесных остатков, в то время как от трети до половины отходов не используется.

В Калининградской области - 307 тыс. га и 45,5 млн. м<sup>3</sup> соответственно. Около 12 – 15% котельных в области сжигают древесное топливо. Отходы почти 50 деревообрабатывающих заводов, расположенных в области, используются в котельных.

В России эффективность использования древесины низкая, поскольку только пятая часть вырубленного леса обрабатывается, большая часть древесины экспортируется в виде сырья. В производстве энергии преобладают ископаемые топлива, и только 8 – 10% тепла произведено из биомассы. В Ленинградской области (включая Санкт-Петербург) доля биотоплив в балансе энергии составляет 2,7%. Биотопливо используется в 232 муниципальных котельных; в 47 котельных проделана определенная подготовительная работа для внедрения биомассы. В планах развития ожидается быстрое увеличение доли биотоплив: до 20 % к 2010 г.

В последние годы в Ленинградской области были начаты работы на девяти заводах по изготовлению древесных пеллет с ежегодной производительностью более 120 тыс. тонн.



## 2. СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ БИОТОПЛИВ И ТОРФА

В котельных стран Балтийского региона широко используются всевозможные топлива на древесной основе. Реже используется солома и в отдельных случаях еще некоторые топлива на основе природной биомассы. Все эти виды биотоплива рассматриваются как возобновляемые, образующиеся при их сжигании углекислый газ по международным соглашениям не считается парниковым.

Вместе с твердыми биотопливами в Справочнике рассматривается и торф, его можно условно отнести к медленно возобновляемым топливам биологического происхождения. Возникающий при его сжигании углекислый газ считают парниковым. Часто торф сжигают в котлах в смеси с древесной щепой (или поочередно), поэтому при выборе технологии сжигания необходимо знать и учитывать различия в свойствах этих топлив.

С точки зрения технологии сжигания и практического использования наибольший интерес представляют следующие характеристики топлива: химический состав, влажность, плотность, выход летучих, зольность, плавкостные характеристики золы, содержание примесей в топливе (почва, пыль и т.д.).

### 2.1. Типы древесного топлива

Древесные топлива по происхождению сырья можно разделить (см. Рис. 2.1) на топлива, полученные из леса, из энергетических лесопосадок и топлива повторного использования.

Если первые два типа топлива можно отнести к экологичным, то третий таковым не является. Обычно сырье третьего типа имеет пропитку, покраску и всякие включения (металл, стекло, пластик и т.д.), поэтому его переработка усложнена. Из-за включений его измельчение требует специальных дробилок, повышаются требования к

горелочному оборудованию и отходам. Таким образом, использование топлива третьего типа можно скорее назвать утилизацией отходов.

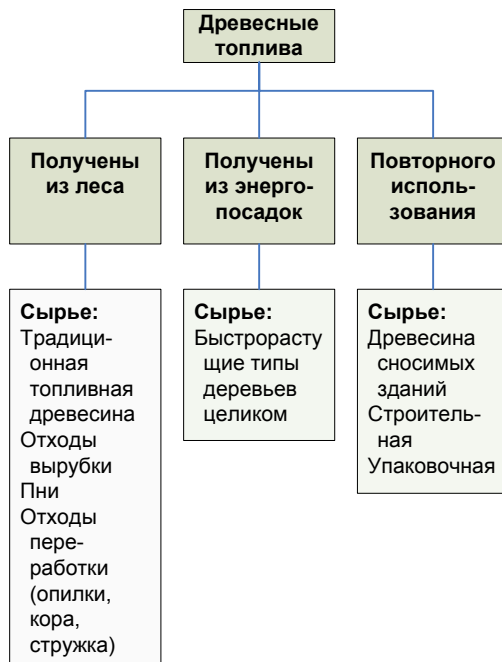


Рис. 2.1. Деление древесного топлива на типы по происхождению сырья

Другая возможность классификации древесного топлива – по степени его улучшения (см. Рис. 2.2). Неулучшенным считается топливо, при производстве которого сырье измельчается или пакуются без изменения механических свойств. К этому виду топлива относят традиционные дрова, щепу, прессованные древесные отходы, отходы деревообработки (опилки, стружка). Типичные представители улучшенного топлива – древесные брикеты и пеллеты.

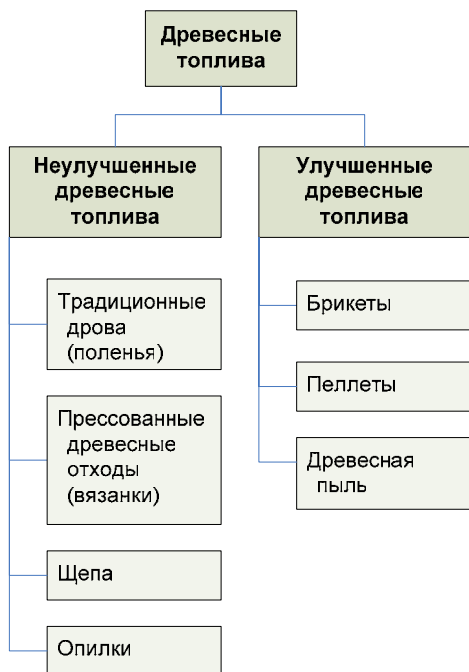


Рис. 2.2. Типы древесного топлива в зависимости от степени улучшения

## 2.2. Свойства древесных топлив

Дерево, точнее оболочка древесной клетки, состоит, в основном, из целлюлозы, лигнина и полуцеллюлозы. Благодаря большому содержанию углерода и водорода теплота сгорания лигнина выше, чем у целлюлозы или полуцеллюлозы. Дерево содержит также немного дегтя, смол и фенолов, которые при определенных условиях могут из дымовых газов оседать на холодные поверхности нагрева и дымоходов с образованием трудно удаляемых отложений.

### 2.2.1. Химический состав, содержание золы, влаги и летучих

Все рассматриваемые в справочниках древесные и другие биотоплива, как и торф, относятся к твердым топливам, состоящим из горючей части и балласта. Балласт образуют зола и влага. Зола и горючая часть (без влаги) образуют сухую массу топлива.

В элементарном составе древесного топлива преобладают три химических компонента: углерод (С), водород (Н) и кислород (О), образуя в сумме около 99% сухой массы (см. Таблица 2.1). Содержание азота (N) остается обычно ниже 0,2%, серы (S) – ниже 0,05% от сухой массы. Содержание серы в топливе представляет интерес прежде всего из-за возникновения сернистых отходов, однако при ее высоком содержании может возникать угроза низкотемпературной коррозии в газоходах и дымовой трубе. Поскольку хлор также может вызвать коррозию поверхностей нагрева, важно знать и его содержание в топливе. Хлор может создавать проблему при сжигании, например, щепы хвойных пород, если их доля в топливе достаточно велика.

Хотя содержание тяжелых металлов в древесной массе не достигает опасных величин, в случае жестких требований к охране окружающей среды с ними следует считаться. В разных частях дерева содержатся в малых количествах никель, мышьяк, кадмий, хром, медь, ртуть, свинец и цинк.

Таблица 2.1. Элементарный состав дерева [12]

Элемент, % на сухую массу	Дерево	Кора
C	48 – 50	51 – 66
H	6,0 – 6,5	5,9 – 8,4
O	38 – 42	24,3 – 40,2
N	0,5 – 2,3	0,3 – 0,8
S	0,05	0,05
Cl	< 0,01	0,01 – 0,03

Содержание золы, влаги, летучих и связанного углерода<sup>5</sup> можно выразить несколькими способами (см. Рис. 2.3):

- в % на сухую массу (индекс С);
- в % на рабочую массу (Р) влажного топлива;
- в % на горючую массу – беззольную сухую массу (Г).

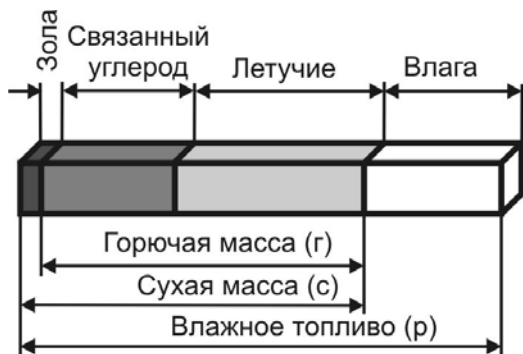


Рис. 2.3. Компоненты твердого топлива

Влажность топлива – величина переменная, поэтому в справочных таблицах содержание золы и летучих предпочитают представлять в % на сухую массу, но в практических расчетах в котельной используют, в основном, в % на рабочую массу влажного топлива.

Между зольностью сухой массы и рабочей существует следующее соотношение [13]:

$$A^C = A^P \cdot 100 / (100 - W^P),$$

где  $A$  – зольность, и  $W$  – влажность топлива.

Влажность топлива определяют сушкой пробы топлива в сушильном шкафу при  $105 \pm 2^\circ\text{C}$  до постоянной массы [14], [15], [16]:

$$W^P = (m_1 - m_2) / m_1 \cdot 100, \text{ где}$$

$W^P$  влажность рабочей массы, т.е. влажного топлива в (%),

$m_1$  масса влажной пробы топлива (Р),

$m_2$  масса сухой пробы топлива (С).

Измерение влажности – важная процедура при приемке топлива в котельной, особенно при измерении количества топлива взвешиванием.

Влажность растущего дерева обычно 40 – 60% и зависит от многих обстоятельств, в том числе места произрастания, вида дерева, времени года (во время роста выше, зимой – ниже). Влажность отдельных частей дерева также различна (см. Таблица 2.2). При сушке из дерева выделяется в первую очередь так называемая свободная влага, затем связанная или клеточная. При выпаривании клеточной влаги меняются физические свойства дерева. Сушка уменьшает объем дерева (усадка).

Таблица 2.2. Влажность отдельных частей хвойных пород, [12]<sup>6</sup>

	Влажность на рабочую массу, $W^P$ , %	
	Сосна	Ель
Ствол	45 – 50	40 – 60
Ветки	50 – 56	42 – 46
Верхушка	60	60
Кора	36 – 67	38 – 63

При сушке дерево достигает состояния равновесия, то есть стабильной влажности, зависящей от условий сушки. В полевых условиях поленья высыхают до влажности 20 – 25%, такое дерево называют воздушно-сухим. При комнатной температуре дерево высыхает до 8 – 15%, это состояние иногда называют комнатно-сухим.

Выход летучих измеряют по стандартизованной методике [17], состоящей в нагреве пробы топлива на воздухе до

<sup>5</sup> связанным считают углерод, остающийся после удаления летучих

<sup>6</sup> Здесь собраны данные из других источников

(900±10)°С в течение 7 минут. Содержание летучих (V) находят по изменению массы, как при определении влажности, и выражают в % на сухую  $V^C$  или сухую беззольную (горючую)  $V^I$  массу.

Соотношение углерода в составе летучих и связанного ( $C_{св}$ ) определяет соотношение тепла, выделяемого в факеле (топочном объеме) и слое горящего топлива. Поскольку выход летучих в дровах и прочих биотопливах высок ( $V^C = 80 - 90\%$ ), большая часть тепла при их сжигании выделяется в топочном объеме и, следовательно, для полного сжигания летучих нужны топки большого объема.

Содержание связанного углерода выражают в % и рассчитывают через содержание летучих как долю беззольной сухой массы после выхода летучих:

$$C_{св}^C = 100 - A^C - V^C$$

$$C_{св}^Г = 100 - V^Г$$

$$C_{св}^P = 100 - A^P - W^P - V^P.$$

### 2.2.2. Теплота сгорания

Теплотой сгорания называют количество тепла, выделяющегося при сжигании единичной массы топлива. Ее измерение производится в так называемой “калориметрической бомбе” [18]. Через теплоту сгорания в бомбе рассчитывают высшую  $Q_B$  и низшую  $Q_H$  теплоту сгорания топлива.

При расчете высшей теплоты сгорания предполагают, что водяной пар, попавший в дымовые газы из влаги топлива и как продукт сгорания водорода, полностью конденсируется. В низшую теплоту сгорания топлива тепло конденсации водяного пара не входит. Чем выше влажность топлива и содержание водорода, тем больше разница между высшей и низшей теплотой сгорания топлива.

В большинстве случаев дымовые газы уходят из котла в дымовую трубу при температуре выше 100°С, то есть значительно выше точки росы, и в этих

условиях энергия конденсации водяного пара не используется. В случае так называемых “чистых топлив”, например, природного газа и дров можно охладить дымовые газы до 40 – 60°С и получить от конденсации водяного пара 15 – 20% дополнительного тепла. Таким образом в “обычных” котлах используется низшая теплота сгорания (нетто), в установках с конденсацией водяного пара из дымовых газов – высшая.

На практике принято рассчитывать коэффициент полезного действия (к.п.д.) котла по низшей теплоте сгорания топлива, что для котлов с конденсацией водяного пара приводит к к.п.д выше 100%. Разумеется, речь идет не о нарушении закона сохранения энергии, а о традициях и соглашениях, позволяющих сопоставлять эффективность котлов различных типов.

Теплоту сгорания выражают обычно в МДж/кг или кДж/кг, причем за основу может быть принята масса влажного (P), сухого (C) или сухого беззольного топлива (Г). Обозначая содержание водорода в сухом топливе  $H^C$ , получим следующие соотношения между низшей и высшей теплотой сгорания (МДж/кг):

$$Q^P_B = Q^C_B \cdot (1 - W^P/100)$$

$$Q^C_B = Q^Г_B \cdot (1 - A^C/100)$$

$$Q^C_H = Q^C_B - 2,442 \cdot 8,936 \cdot H^C/100$$

$$Q^P_H = Q^C_H \cdot (1 - W^P/100) - 2,442 \cdot W^P/100$$

$$Q^P_H = Q^P_B - 2,442 \cdot \{8,936 \cdot H^C/100 \cdot (1 - W^P/100) + W^P/100\}$$

Теплота сгорания сухой массы дров мало зависит от типа дерева (см. Таблица 2.3), причем теплота сгорания коры лиственных пород (береза, ольха) значительно превосходит соответствующие показатели основной массы. Используя данные таблицы и приведенные выше соотношения можно оценить предполагаемую теплоту сгорания дров при заданных влажности и зольности.

Если теплоту сгорания определяют и приводят в справочниках, в основном,

на единицу массы, то в котельных часто целесообразнее отнести ее к той единице, в которых рассчитывается количество поступившего топлива. Такой единицей в случае щепы может быть,

например, насыпной объем в м<sup>3</sup>. Чтобы связать теплоту сгорания на единицу массы и объема, необходимо знать удельный вес (плотность) топлива.

Таблица 2.3. Низшая теплота сгорания сухой массы наиболее распространенных типов дерева,  $Q^C_n$ , МДж/кг [19]

Тип дерева	Ствол без коры	Кора	Ствол целиком	Ветки и верхушка	Дерево целиком
Сосна обычная (Pinus sylvestris)	19,31	19,53	19,33	20,23	19,52
Ель обычная (Picea abies)	19,05	18,80	19,02	19,17	19,29
Береза пушистая (Betula pubescens)	18,68	22,75	19,19	19,94	19,30
Береза плачущая (Betula pendula)	18,61	22,52	19,15	19,53	19,29
Ольха серая (Alnus incana)	18,67	21,57	19,00	20,03	19,18
Ольха черная (Alnus glutinosa)	18,89	21,48	19,31	19,37	19,31
Осина (Populus tremula)	18,67	18,57	18,65	18,61	18,65

В основном теплоту сгорания определяют на единицу массы влажного топлива, но при колебании влажности этот способ представления данных может привести к ощутимым неточностям. Другая возможность – отнести теплоту сгорания к 1 кг сухой части топлива. Для типичного диапазона влажности древесного топлива (до 50%) влияние ошибки измерения влажности на величину теплоты сгорания сухой части существенно ниже, чем на величину теплоты сгорания рабочей массы влажного топлива (см. Рис. 2.4).

Принимая во внимание вышесказанное, полезно знать, что содержание сухой части кубометра дров или щепы практически не зависит от влажности. Следовательно, измеряя поступающее в котельную топливо (например щепу) в единицах объема и зная теплоту сгорания сухой части этого объема, можно сравнительно точно определить

его энергоемкость без особой необходимости точного измерения влажности.

Взвешивание поступающего топлива и точное измерение его влажности не является, таким образом, единственным способом определения энергоемкости. Для корректных расчетов с поставщиком топлива перестает быть строго обязательной установка дорогостоящего оборудования взвешивания грузовиков.

Неточность расчета теплоты сгорания щепы на единицу массы сухой части при влажности 35% и возможной ошибке ее определения  $\pm 5\%$  не превышает 1,7%, при расчете на единицу массы рабочего топлива – 9,24%.

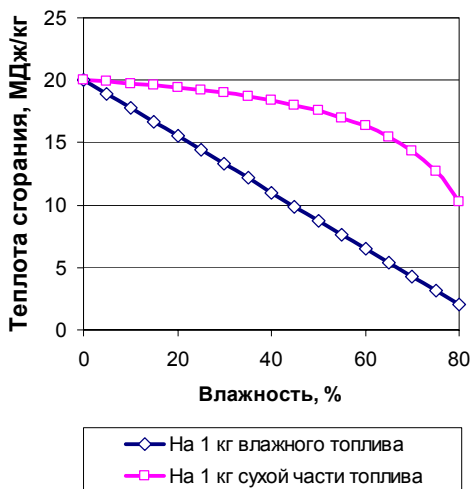


Рис. 2.4. Сравнение теплоты сгорания влажного древесного топлива, отнесенной к рабочей массе и сухой части топлива

### 2.2.3. Плавкостные характеристики золы

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

Для определения плавкостных характеристик золы существует ряд стандартов: ASTM D 1857, ISO 540 и DIN 51730.

По стандарту ASTM измеряют изменение формы стандартного конуса золы при его нагревании в окислительной среде (см. Рис. 2.5):

- 1 – исходное состояние, до начала нагрева верхушка конуса острая;
- IT – начало деформации, острая вершина конуса скругляется;
- ST – температура размягчения, золовой конус сплющивается так, что величина образующих уменьшается до диаметра ( $H = B$ );

- HT – точка образования полусферы, конус превращается в полусферу ( $H = 1/2 \cdot B$ );
- FT – точка растекания, жидкая зола растекается по поверхности.

Плавкостные характеристики древесной золы могут колебаться в широких пределах в зависимости от вида дерева, места произрастания, включений, попавших в топливо (например из почвы). Различна и зола разных частей дерева. По литературным источникам плавкостные характеристики древесной золы колеблются в следующих пределах [12]:

- начало деформации IT = 1150 – 1490°C;
- температура размягчения ST = 1180 – 1525°C;
- точка образования полусферы HT = 1230 – 1650°C;
- точка растекания FT = 1250 – 1650°C.

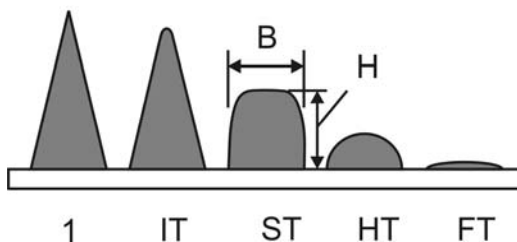


Рис. 2.5. Изменение формы стандартного конуса при его нагревании

Плавкостные характеристики золы некоторых топлив приведены в таблице (см.

Таблица 2.4). Если для коры температура размягчения обычно довольно высокая (выше 1500°C) и не вызывает шлакования топки и колосника, то у золы опилок и щепы она много ниже, и во избежание проблем шлакования необходимо строго выдерживать режим горения.

Плавление золы зависит от ее минерального состава, и даже небольшие

различия в составе могут существенно менять плавкостные характеристики. По составу топлива и золы практически невозможно достоверно предсказать плавкость золы.

Поскольку котельная вынуждена использовать топлива, свойства золы которых точно не известны, может стать необходимым использование экспресс-анализа проб, который в будущем планируется стандартизировать [20]. Метод предполагает сжигание на чистом

колоснике малых проб (2 кг) топлива с последующим контролем шлакования визуальным или простым эмпирическим методом. Поскольку на практике низкая температура плавления золы приводит к шлакованию колосника и серьезным проблемам, внедрение простого экспресс-метода в лаборатории котельной может позволить использовать топлива, от которых ранее из-за боязни шлакования приходилось отказываться.

Таблица 2.4. Плавкостные характеристики древесной золы [12]

Топливо	Плавкостные характеристики, °C			
	IT	ST	HT	FT
Щепа в целом, сосна	1210	1225	1250	1275
Щепа отходов рубки	1175	1205	1230	1250
Опилки, сосна	1150	1180	1200	1225
Кора, ель	1405	1550	1650	1650
Кора, сосна	1340	1525	1650	1650

#### 2.2.4. Объем и плотность топлив

Обычно основные показатели твердого топлива определяют на единицу рабочей или сухой массы, однако для многих твердых биотоплив и торфа их количество часто измеряют в объемных единицах, поэтому полезно представление некоторых их характеристик (особенно теплоты сгорания) на единицу объема.

Очень важно знать плотность щепы, поскольку очень многие использующие щепу средние и малые котельные измеряют количество поступающего топлива по объему. Важно знать, что точность определения энергосодержания топлива на единицу объема меньше зависит от точности определения влажности, чем при его определении на единицу массы (веса). Содержание сухой части в рабочем объеме топлива мало зависит от влажности, теплота сгорания сухой массы также меньше зависит от влаж-

ности, чем теплота сгорания рабочей массы (см. Рис. 2.4 и п. 2.2.2).<sup>7</sup>

Объем прибывающего в котельную топлива целесообразно измерять до складирования по объему грузовика и его заполнению. Следует отметить, что при перевозке плотность топлива может несколько возрасти, т.е. при погрузке она меньше, чем по прибытии в котельную.

Для измерения плотности топлива можно использовать, например, ящик с типовыми размерами. Его заполняют топливом и взвешивают. По рекомендации VTT<sup>8</sup> (ENE38/24/97 [12]) следует использовать 125 литровый ящик с размерами 0,5x0,5x0,5 м<sup>3</sup>. При таком

<sup>7</sup> Справедливо при типичных влажностях до значений 60 – 65%.

<sup>8</sup> Государственный Научно-исследовательский Центр Финляндии

методе плотность получается меньше, чем в прибывающем грузовике, поскольку ящик не встряхивают.

Измерение плотности в особых условиях можно проводить в соответствии со стандартами: ASTM E 1109, DIN 517052, ISO 1013 и ISO 567, на выходе стандарт CEN [21].

Объемы древесины и древесного топлива в статистике обычно представляют в кубометрах. При использовании такой единицы измерения важно знать плотность рабочей массы топлива  $\rho^p$ .

### 2.3. Соломы и их свойства

Наряду с древесным топливом в котельных используется солома (второе по значимости топливо из группы биотоплив) и энергетическое сено. Оба топлива - продукты аграрной деятельности. Здесь же можно получить другие виды биомассы, используемые, в основном, для производства жидкого топлива или газа. В данном Справочнике рассматривается использование в качестве топлива только соломы, поскольку производство и использование других твердых топлив аграрного происхождения находится еще на стадии испытаний.

В странах Балтийского региона выращивают рожь, пшеницу, овес и ячмень, в качестве топлива можно использовать все виды соломы. В некоторых странах (например, в Швеции) сжигают и зерно. Это связано с государственной поддержкой крестьян, чьи нереализованные остатки зерновых находят такое применение. Поскольку зерновые на топливо, как правило, не выращивают, не стоит широко пропагандировать их сжигание, и в данном Справочнике оно не отражено.

Элементарный состав соломы (см. Таблица 2.5) и теплота сгорания не слишком отличается от соответствующих показателей для дерева, хотя теплота сгорания все же ниже (см. Таблица 2.7). С учетом типичной

влажности рабочей массы соломы, остающейся ниже 20%, ее теплота сгорания даже чуть выше, чем у щепы (типичная влажность щепы 35 – 55%).

Свойства соломы сильно зависят от места произрастания, времени года и погоды, почвы и удобрения. Например, содержание хлора в рано убранной соломе почти в 4 раза выше, чем в поздней. Максимальное содержание хлора может достигать 0,97%, и это сильно влияет на коррозию поверхностей нагрева.

Таблица 2.5. Элементарный состав сухой соломы [12]

Содержание элемента, %	Диапазон	Среднее значение
C	45 – 47	46
H	5,8 – 6,0	5,9
N	0,4 – 0,6	0,5
O	39 – 41	40
S	0,01 – 0,13	0,08
Cl	0,14 – 0,97	0,31

Таблица 2.6. Плавкостные характеристики золы соломы зерновых [12]

Зерновая культура	ST, °C	HT, °C	FT, °C
Рожь	840	1150	1330
Пшеница	1050	1350	1400
Ячмень	765	1035	1190
Овес	735	1045	1175

Содержание летучих в соломе колеблется от 60% до 70%, что чуть ниже, чем в древесных топливах. Зольность соломы выше, чем у древесных топлив, в сухой части она составляет 4,5 – 6,5%. В то же время температура плавления золы может быть значи-



тельно ниже, чем у золы древесных топлив (см. Таблица 2.6). Размягчение золы соломы ржи, овса и ячменя начинается при очень низких температурах (735 – 840°C), что необходимо учитывать при

выборе технологии сжигания и наладке режима горения в топке.

Таблица 2.7. Зольность и теплота сгорания соломы различных зерновых [12]

Зерновая культура	Зольность на сухую массу, $A^C, \%$	Низшая теплота сгорания сухой массы, $Q^C_{H_2}, \text{МДж/кг}$	Низшая теплота сгорания рабочей массы при влажности 20%, $Q^P_{H_2}, \text{МДж/кг}$
Рожь	4,5	17,0	13,6
Пшеница	6,5	17,8	13,8
Ячмень	4,5 – 5,88	17,4	13,4
Овес	4,9	16,7	12,9
Солома в среднем	5,0	17,4	13,5

Наибольшая проблема при сжигании соломы – ее низкая плотность, у непрессованной соломы она всего 30 – 40 кг/м<sup>3</sup>, что удорожает транспортировку и складирование. Чаще всего солому поставляют в прессованном виде.

При уборке зерновых влажность соломы обычно 30 – 60%, для сжигания она пригодна при влажности до 20%. Поскольку при хранении влажность снижается на 2 – 6%, то для получения пригодной к сжиганию соломы ее надо убирать при влажности не выше 25%. Более влажную солому надо подсушить до складирования или в складе, это предохранит ее от самонагревания и гниения при хранении.

## 2.4. Свойства торфа

Залежи торфа возникли из остатков растений при их частичном разложении в среде с избытком воды и недостатком кислорода. Торф состоит, в основном, из частично разложившихся растительных остатков и гумуса. Наиболее важные характеристики торфа – степень разложения торфа, влажность,

содержание минеральной части (золы), плотность и теплота сгорания.

Хотя торф по происхождению – биотопливо, обычно его относят к медленно возобновляемым биотопливам, а выделяемый при его сжигании CO<sub>2</sub> относят к парниковым газам, как для случая ископаемых топлив.

Степень разложения торфа обычно выражают с помощью линейной десятибалльной шкалы вон Поста (*von Post*) и обозначают Н1 – Н10. Н1 означает морфологически неразложившийся торф, Н10 – разложившийся настолько, что невооруженным глазом невозможно выделить изначальную структуру материала.

В качестве топлива используют, в основном, старый торф высокой степени разложения, где растительная структура едва различима или неразличима вообще.

Основные типы торфа как топлива – фрезерный (см. Рис. 2.6), кусковой (см. Рис. 2.7), торфобрикеты и пеллеты, технология производства которых кратко представлена в п. 3.7.

Типичный состав торфа [12]:

- содержание золы 4 – 6%;
- содержание связанного углерода в сухой части 23 – 31%;
- содержание летучей золы в сухой части 65 – 70%;
- влажность рабочей массы:

- фрезерный в среднем 48%,
- кусковой в среднем 35%,
- брикеты в среднем 10%.

Состав и свойства торфа очень сильно зависят от степени разложения (см. Таблица 2.8 и Таблица 2.9 [12]).



Рис. 2.6. Фрезерный торф



Рис. 2.7. Кусковой торф

Таблица 2.8. Влияние степени разложения торфа на состав рабочей массы в % [12]

Составные части	Малая степень разложения (Н1 – Н2)	Средняя степень (Н5 – Н6)	Сильная степень (Н9 – Н10)
Целлюлоза	15 – 20	5 – 15	–
Полуцеллюлоза	15 – 30	10 – 25	0 – 2
Лигнин	5 – 40	5 – 30	5 – 20
Гумус	0 – 5	20 – 30	50 – 60
Смолы и воски	1 – 10	5 – 15	5 – 20
Богатые азотом вещества, приведенные к протеинам	3 – 14	5 – 20	5 – 25

Таблица 2.9. Влияние степени разложения торфа на состав сухой части в % [12]

Степень разложения	Химический состав сухой части, %			
	Углерод, С	Водород, Н	Азот, N	Кислород, O
Малая (Н1 – Н2)	48 – 50	5,5 – 6,5	0,5 – 1	38 – 42
Средняя (Н5 – Н6)	53 – 54	5,0 – 6,0	1 – 2	35 – 40
Сильная (Н9 – Н10)	58 – 60	5,0 – 5,5	1 – 3	30 – 35

Торф относится к топливам гумусного происхождения (растения суши – торф – бурый уголь – сланец – антрацит), и при сравнении состава и свойств этих топлив видим, что содержание углерода растет с увеличением степени разложения (см. Таблица 2.9). Некоторые особенности слаборазложившегося торфа затрудняют его использование в качестве топлива. Такой торф гигроскопичен, и в хранилище под влиянием влаги воздуха может увлажниться. Низкая плотность и высокая сжимаемость затрудняют его доставку транспортером и сжигание. В связи с этим,

как отмечалось выше, на топливо используют более разложившийся торф.

Плавкостные характеристики золы торфа (см. Таблица 2.10) по сравнению с древесной золой довольно низкие. Содержание и свойства золы торфа зависят от типа болота, условий образования торфа, количества и свойств примесей (песок). По этой причине приведенные в таблице показатели в каждом конкретном случае требуют уточнения.

Таблица 2.10. Средние показатели свойств фрезерного и кускового торфа по данным VTT [12]

	Влажность, $W^p$ , %	Зольность, $A_c$ , %	Летучие в сухой части, %	Теплота сгорания рабочей массы, $Q^p_{H_2}$ , МДж/кг	Плотность рабочей массы, кг/м <sup>3</sup>	Объемное энерго-содержание, МВт·ч/м <sup>3</sup>
Фрезерный	48,5	5,1	68,6	9,6	341	0,89
Кусковой	38,9	4,5	68,9	11,9	387	1,27

Таблица 2.11. Плавкостные характеристики золы торфа по данным VTT и Varo [12]

	Плавкостная характеристика (мин – сред – макс), °С,		
	Точка размягчения	Образование полусферы	Температура растекания
Фрезерный (VTT)	1100 – 1130 – 1190	1200 – 1253 – 1375	1205 – 1290 – 1430
Кусковой (VTT)	1040 – 1136 – 1335	1145 – 1273 – 1415	1175 – 1308 – 1490
Кусковой (Varo)	1130 – 1218 – 1340	1160 – 1252 – 1380	1180 – 1292 – 1470

## 2.5. Сертификаты качества и классы твердых биотоплив

Европейский комитет по стандартизации<sup>9</sup> CEN в настоящее время организует

разработку технических условий для многих твердых биотоплив. Техническими условиями пытаются унифицировать:

- терминологию и определения;
- технические условия и классы качества топлив;
- взятие проб топлива;

<sup>9</sup> по английски: *The European Committee for Standardisation*, сокращенно CEN

- определение механических, физических и химических свойств.

Необходимость принятия технических условий вызвана расширением сферы использования твердых биотоплив и превращением некоторых из них в объекты международной торговли. Классы качества топлив упрощают отношения продавца и покупателя и заключение договора, поскольку оба должны использовать одни и те же определяемые в технических условиях понятия и все необходимые показатели топлива.

Ниже вкратце описаны технические условия и классы качества твердых биотоплив [22], [23].

### 2.5.1. Основы классификации твердых биотоплив

Классификация твердых биотоплив начинается с определения их происхождения, по которому они делятся на следующие группы:

- биомасса на основе дерева;
- травяная биомасса;
- фруктовая биомасса;
- биотоплива с добавками и смеси.

В качестве котельного топлива в странах Балтии практическое использование получили различные древесные топлива и некоторые травяные (прежде всего солома).

Биомасса, переработанная из деревьев и кустарников, может быть получена как прямо из леса, так и из посадок (так называемые энергетические посадки), отходов деревообрабатывающей промышленности, биомассы повторного использования и т.д. (см. Рис. 2.1).

Как древесные, так и травяные топлива могут быть химически переработанными и содержать включения и химикаты, влияющие на использование их в качестве топлива. В древесном топливе повторного использования включениями могут быть, например, гвозди и металл электропроводки (остатки сноса), смолы

и клей (остатки деревообрабатывающей промышленности, сноса и пр.). Исходя из опасности для окружающей среды эти примеси необходимо особо точно классифицировать.

Биотоплива производят, продают и потребляют в весьма многообразных формах, типичные показатели которых приведены в таблице (см. Таблица 2.12).

В зависимости от типа биотоплива при его классификации применяют показатели двух категорий:

- нормативные (обязательные) показатели;
- информативные показатели, их представление желательно, но не обязательно.

К применяемым при классификации показателям свойств топлив (нормативным и информативным) могут относиться (см. Таблица 9.3 – Таблица 9.9):

- происхождение и источник сырья;
- торговая форма топлива (см. Таблица 2.12);
- влажность рабочей массы ( $W^P$ );
- зольность (A);
- распределение размеров частиц (P);
- плотность частиц топлива (DE);
- насыпная плотность (BD);
- механическая устойчивость пеллет (DU);
- содержание углерода (C), водорода (H) и азота (N);
- содержание растворимых в воде хлора (Cl), натрия (Na) и калия (K);
- общее содержание серы (S) и хлора (Cl);
- содержание химических элементов (Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Na ja Ti). К этой группе относятся элементы, содержание которых обычно выше определенного минимума;

- содержание микроэлементов (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, V ja Zn). Содержание

этих элементов низкое, но его может быть необходимо знать из-за требований к защите окружающей среды.

Таблица 2.12. Типичные показатели торговых форм биотоплив

Топливо	Типичные размеры частиц	Тип подготовки
Брикеты	$\varnothing > 25$ мм	механическое прессование
Пеллеты	$\varnothing < 25$ мм	механическое прессование
Пылевидное топливо	$< 1$ мм	размол
Опилки	1 мм – 5 мм	отходы при распиловке острым инструментом
Щепа	5 мм – 100 мм	отходы при переработке острым инструментом
Измельченное дерево	варьируется	измельчение тупым инструментом
Поленья	100 мм – 1000 мм	разделка на куски острым инструментом (пилой)
Кора	варьируется	окоривание бревен, кора может быть измельчена
Прессованная солома в малых тюках	0,1 м <sup>3</sup>	спрессована и увязана в кубовые тюки
Прессованная солома в больших тюках	3,7 м <sup>3</sup>	спрессована и увязана в кубовые тюки
Прессованная солома в вязанках	2,1 м <sup>3</sup>	спрессована и увязана в вязанки

### 2.5.2. Показатели классификации топлива

Для классификации большинства биотоплив основные показатели качества разбиты на промежутки, изменение в пределах которых соответствующего показателя для потребителя несущественно. Например, класс щепы по влажности M20 показывает, что влажность рабочей массы не должна превышать 20%. Следующий класс влажности M30 определяет границы влажности 20 – 30%. По тому же принципу обозначают классы по другим показателям (Таблица 9.3 – Таблица 9.9)

Для каждой группы потребителей и типа сжигающих установок необходимы или предпочтительны топлива с определенными свойствами. Чем меньше сжигающая установка, тем качественнее должно быть топливо.

Свойства рекомендуемых для индивидуальных пользователей высококачественных древесных брикетов и пеллет должны отвечать данным, приведенным в таблицах (см. Таблица 2.13 и Таблица 2.14 [22], [24]).

Таблица 2.13. Классы качества древесных высококачественных брикетов для индивидуальных потребителей

<b>Происхождение</b>	<b>Химически необработанное дерево без коры</b>
Влажность	M10 (до 10%)
Плотность	DE1.0 (плотность 1,00 – 1,09 кг/дм <sup>3</sup> )
Размеры	Таблица 9.4
Зольность	A0.7 (< 0,7% на сухую часть)
Включения	может содержать < 2% на сухую часть химически необработанного материала на основе другой биомассы, тип и состав которой необходимо указать
Низшая теплота сгорания	E4.7 (> 4,7 кВт·ч/кг = 16,9 МДж/кг)

Таблица 2.14. Классы качества древесных высококачественных пеллетов для индивидуальных потребителей

<b>Происхождение</b>	<b>Химически необработанная окоренная древесина</b>
Влажность	M10 (до 10%)
Механическая устойчивость	DU97.5 (более 97,5% пеллетов (по весу) должно при этом испытании остаться целыми)
Содержание тонких фракций	F1.0 или F2.0 (содержание фракции до 3,15 мм – ниже 1% или 2%)
Размеры	D06 или D08 (диаметр пеллетов 6±мм и длина до 5 диаметров или диаметр 8±мм и длина до 4 диаметров). До 20% пеллетов (по весу) может быть длиной 7,5 диаметров
Зольность	A0.7 (< 0,7% на сухую массу)
Содержание серы	S0.05 (< 0,05% на сухую массу)
Включения	может содержать < 2% на сухую часть химически необработанного материала на основе другой биомассы, тип и состав которой необходимо указать
Низшая теплота сгорания	E4.7 (> 4,7 кВт·ч/кг = 16,9 МДж/кг)

Требования к свойствам топлива со стороны котельных центрального отопления или других крупных потребителей топлива зависят от применяемых сжигающих установок, транспортеров, конструктивных особенностей и способа использования хранилищ. Например,

если для индивидуальных потребителей предпочтительней возможно более сухое топливо, то в котельной может быть установлен котел, для топки которого предпочтительно более влажное топливо.

Очень важный показатель неуплучшенного натурального древесного топлива – диапазон размеров частиц, отражаемый в названии торговой формы топлива и в значительной мере определяющий технологию сжигания.

Типичным классом щепы по размеру частиц можно считать класс Р45, для которого распределение частиц топлива имеет вид:

- тонкая фракция – до 5% от массы топлива состоит из частиц до 1 мм;
- основная фракция – не менее 80% массы топлива состоит из частиц  $3,15 \text{ мм} \leq P \leq 45 \text{ мм}$ ;
- крупная фракция – до 1% массы топлива может быть крупнее 63 мм.

Как видно из распределения, классификацию определяет содержание тонкой и крупной фракций, поскольку оба отклонения от основной фракции влияют на работу конвейера и горение топлива в топке.

### 2.5.3. Классификация торфа

Классификация торфа в основном сходно с классификацией твердого биотоплива, различны, конечно, происхождение и частично торговая форма. Наиболее распространенные торговые формы торфа приведены в следующей таблице (см. Таблица 2.15).

Таблица 2.15. Наиболее распространенные торговые формы торфа [25]

Название топлива	Типичный вид и размер частиц	Распространенный тип подготовки
Брикеты	Диаметр или меньший размер частицы > 25 мм	Механическое прессование
Пеллеты	Ø < 25 мм	Механическое прессование
Кусковой торф	Ø < 80 мм цилиндрические,	Резка, формовка, натуральная сушка и смешивание, очистка, складирование
Фрезерный торф	Ø < 25 мм	Фрезирование, натуральная сушка и смешивание, очистка, складирование
Смеси торфа с древесной или травяной биомассой	Варьируется	Измельченная и смешанная с торфом древесина, солома или другая зеленая биомасса

Сертификат качества торфа должен содержать дополнительно данные поставщика, фамилию и подпись ответственного лица, дату и место подписания и таблицу нормативных и информативных показателей топлива [25].

### 2.6. Отбор проб топлива и определение качества

Определение качества топлива должно проводиться в соответствии с согласованным стандартом, о чем вскользь упоминалось в п. 2.2. Само по себе определение свойств не требует больших количеств топлива, но при этом

маленькая проба топлива должна отражать средние показатели большой массы (например, грузовика). Поэтому пробу надо брать из нескольких мест с различными свойствами, смешивать и потом разделять на мелкие части так, чтобы в итоге получить представительную пробу, результат анализа которой был бы применим ко всему количеству топлива [26].



### 3. ПРОИЗВОДСТВО ТВЕРДОГО БИОТОПЛИВА

#### 3.1. Разделение биомассы в лесу, технологические и природоохранные ограничения при производстве топлива

##### 3.1.1. Распределение древесной биомассы

Лесное хозяйство Эстонии обычно имеет дело с ликвидной древесиной (пиловочник, сырье для бумаги, традиционные дрова), не уделяя внимания отходам рубки. Для энергетики же это очень ценное сырье. Распределение древесной биомассы и энергетический потенциал отходов рубки основательно изучен в Финляндии. Из Рис. 3.1 видно, что верхушки, ветки, пни и корни образуют очень важную часть биомассы дерева.

Использование традиционных дров в энергетических целях начало сокращаться. Тому несколько причин – минимальный диаметр дерева, используемого в целлюлозной и деревообрабатывающей промышленности, уменьшился, то же сырье используют для производства плит и древесного угля, появились и другие возможности обработки тонкомерного сырья. Поэтому энергетикам приходится изыскивать альтернативные возможности, из них наиболее перспективная – использование отходов рубки. Возможность получить древесное топливо возникает при осветлении молодняка, в еще больших количествах – при рубках прореживания и возобновления. Данные по южной Финляндии показывают (см. Таблица 3.1), что за время оборота рубки можно собрать отходов 155 – 300 м<sup>3</sup>/га.

Хотя важную часть биомассы дерева составляют корни и пни, их сбор до сих пор не был целесообразным из-за высоких затрат энергии. Исследования последних лет в Финляндии показали, что они могут быть все-таки важным дополнением к традиционным древес-

ным ресурсам. Данные по теплоте сгорания пней представлены на Рис. 3.2. Энергосодержание пней с 1 га оценивается величиной 140 – 160 МВт·ч.



	Распределение биомассы, %			
	Сосна		Ель	
Ствол	100	69	100	59
Верхушка, ветки	23	16	45	27
Корни, пень	22	15	24	14
Всего	145	100	169	100

Рис. 3.1. Распределение биомассы дерева [27]

##### 3.1.2. Технологические и природоохранные ограничения при производстве топлива

В последние годы при производстве древесного топлива стали обращать внимание на потери минеральных веществ, вызванной вывозом биомассы из леса.

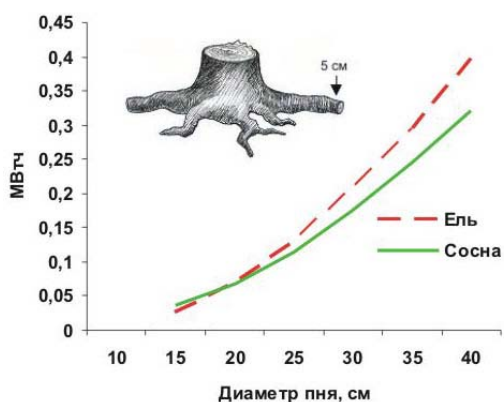


Рис. 3.2. Сухая масса и теплота сгорания пней в зависимости от их диаметра [27]

Поскольку распределение минеральных веществ в разных частях дерева различно, выбором технологии можно влиять на их потери. Датские данные об этом представлены в таблице (см. Таблица 3.2).

Из таблицы видно, что если отходы рубки перед измельчением высушить и дать этим возможность осыпаться листьям и хвое, потери минеральных веществ значительно сократятся. Дополнительная компенсация потерь – вернуть золу обратно в лес. Древесная зола содержит в малых дозах тяжелые металлы (Cd 0 – 0,08 г/кг золы, Pb 0,02 – 0,6 г/кг) и это не позволяет возвращать золу в лес в больших количествах [28]. Желательно отвозить золу туда, где были собраны отходы рубки.

Таблица 3.1. Поступление древесины из хвойных лесов Финляндии [27]

Тип вырубki	Возраст дерева	Объем, м <sup>3</sup> /га	Отходы рубки	
			м <sup>3</sup> /га	тнэ/га
Осветление молодняка	10 – 20	–	15 – 50	3 – 9
1-я рубка прореживания	25 – 40	30 – 80	30 – 50	6 – 9
2-я рубка прореживания	40 – 60	50 – 90	20 – 40	4 – 8
3-я рубка прореживания	50 – 70	60 – 100	20 – 40	4 – 8
Рубка возобновления	70 – 100	220 – 330	70 – 130	13 – 24
За период оборота рубки		360 – 600	155 – 310	30 – 58

Таблица 3.2. Потеря минеральных веществ за 70-летний период ротации при различных технологиях [28]

	N	P	K	Mg	Ca
Потеря минеральных веществ, кг/га					
Ствол	170	54	205	23	234
Измельчение с подсушкой	214	58	213	26	259
Измельчение без подсушки	252	61	230	30	294
Увеличение потерь минералов, %					
Измельчение с подсушкой	26	7	4	13	11
Измельчение без подсушки	48	13	12	30	26

### 3.2. Технологии и оборудование подготовки древесного топлива

Обычные дрова (поленья) редко используют в крупных котельных, но в частных домах они остаются одним из основных видов топлива. Подготовка поленьев за последние годы почти не изменилась. Основные рубки дров из усадебных лесов до сих пор проводят вручную моторными пилами. Лесозаготовительные машины (харвестеры) начали применять на обновляющих вырубках, когда древесное топливо заготавливают вместе с ликвидной древесиной. Чаще стали применять машины для распиловки бревен и складирования поленьев. Соответствующее оборудование будет представлено в п. 3.2.

Быстрое развитие получили технологии производства щепы. Толчок к развитию дал нефтяной кризис 1970-х, заставивший зависимые от импорта топлива промышленно развитые страны пересмотреть запасы своего возобновляемого топлива и развить технологии его

производства. Стали применять ранее не используемые отходы рубки, особенно в Швеции и Финляндии. Результатом долгосрочных научных изысканий и разработок стали хорошо теперь развитые технологии производства щепы как из стволов, так и из отходов рубки. Неудачными оказались попытки внедрить технологию распила дерева на куски при одновременном сборе ликвидной древесины и древесного топлива.

#### 3.2.1. Щепа из стволов

При осветлении молодого леса в больших объемах образуется материал, не нашедший применения в промышленности, но пригодный как топливо. При рубках ухода в зрелых лесах выход ликвидной древесины может быть таким низким, что целесообразнее весь вырубленный материал пустить на изготовление щепы. Щепу из не обрубленных тонких стволов называют столовой или щепой из цельного дерева [29]. Обобщенная технологическая схема приведена на Рис. 3.3.

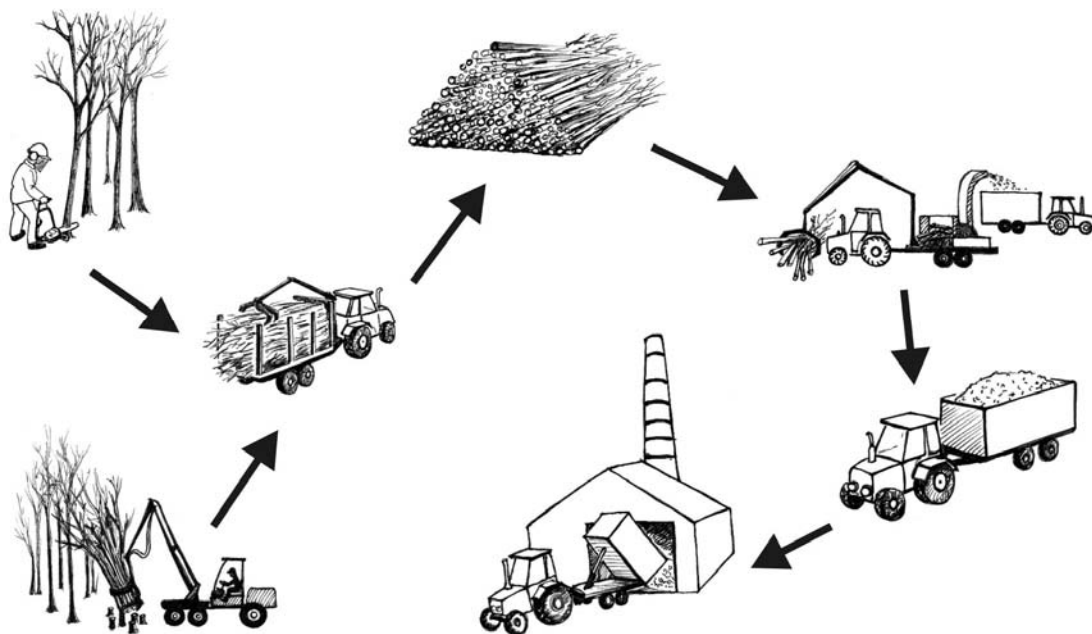


Рис. 3.3. Технология столовой щепы

Осветление молодняка в усадебных лесах проводят обычно вручную, кусторезной или моторной пилой. Для механизации и увеличения производительности таких работ, проводимых в больших объемах, стали использовать установленные на харвестерах собирающие головки (см. п. 3.3.4), подбирающие тонкие стволы в пучки. Режущим органом служит гильотина. Для рубок ухода можно использовать трелевщик, захват манипулятора которого совмещен с режущей головкой, см. Рис. 3.4. Это позволяет ему срезать и подбирать срезанные стволы.



*Рис. 3.4. Резка и подборка стволов при рубках ухода (фото П. Муйсте)*

Сбор стволов можно вести вручную, но при больших объемах для подбора в кучи применяют форвардеры или другие лесные трактора. Собранный материал можно дробить сырым (см. Рис. 3.5) или складировать в кучи (см. Рис. 3.6) и дробить тогда, когда возникает потребность в щепе. Хранение дерева в боль-

ших кучах обеспечивает низкую влажность и тем самым высокую теплоту сгорания. При сушке иглы и листья осыпаются и тем снижаются потери минеральных веществ из леса.



*Рис. 3.5. Измельчение стволов (фото П. Муйсте)*



*Рис. 3.6. Куча необрубленных тонких стволов (фото П. Муйсте)*

### **3.2.2. Щепа из отходов рубки**

По сравнению с переработкой ликвидной древесины, при сборе отходов следует учитывать следующее:

- отходы рубки имеют низкую плотность и широкий разброс, их сбор и обработка трудоемки, оборудование дорого;
- из-за низкого энергосодержания перевозка дорога и экономически окупаемая дальность перевозки невелика.

По этой причине для снижения расходов следует тщательно планировать всю цепочку логистики. Прежде всего следует

определить подходящее место измельчения отходов рубки. Чаще всего применяют следующие технологии (см. Рис. 3.7):

1. измельчение отходов на лесосеке;

2. измельчение в промежуточном (буферном) складе;
3. перевозка отходов в нижний склад и измельчение там;
4. пакетирование лесосечных отходов.

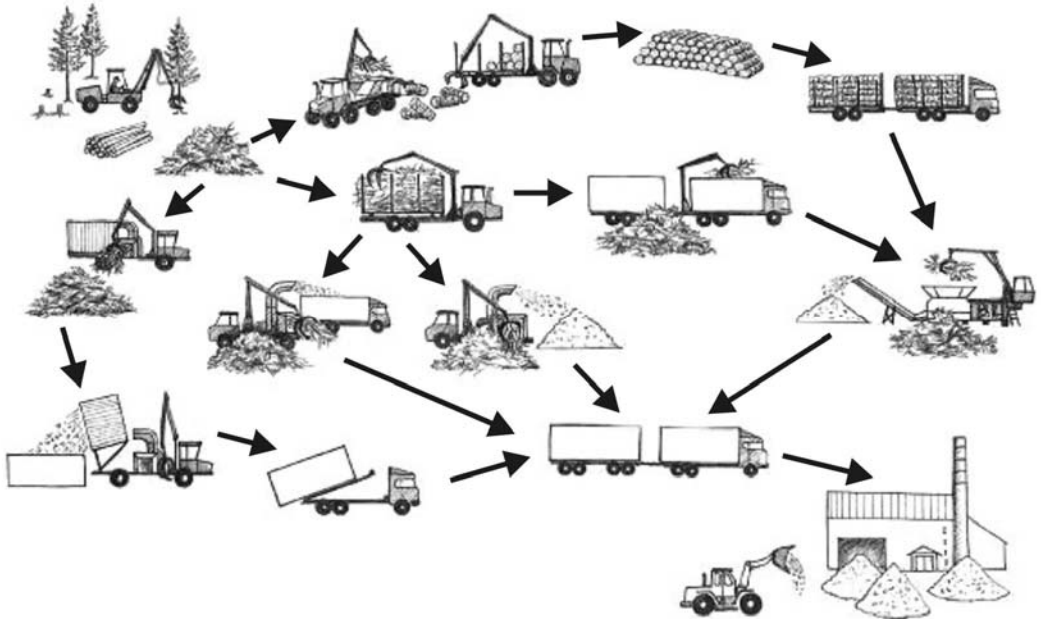


Рис. 3.7. Производство щепы из отходов рубки

Если планируется собирать отходы после рубки возобновления, с этим надо считаться уже в ходе рубки [30]. На мягких почвах вырубку надо планировать на зиму, чтобы избежать использования обрубаемых сучьев как подложку для укрепления путей вывоза (см. Рис. 3.8). Если это все-таки произошло, то подбирать такие сучья не стоит, так как для измельчения смешанного с почвой и камнями материала придется вместо измельчителей использовать дробилки, да и качество получаемого топлива не будет отвечать требованиям.

На твердых почвах укрепления путей не требуется, и производство щепы возможно. Сбор отходов облегчается, если рубка проводить харвестером и обруб-

ленные сучья и верхушки укладывать по обочинам путей вывоза в валки и кучи, см. Рис. 3.9.

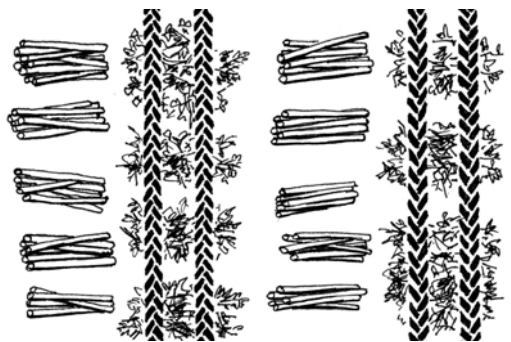


Рис. 3.8. Использование сучьев для укрепления путей вывоза

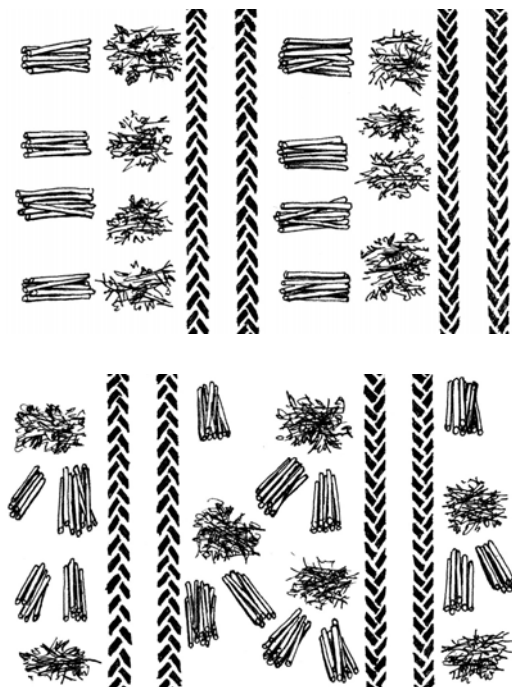


Рис. 3.9. В ходе вырубki желательнo обрубленные сучья складывать отдельно

### 3.2.2.1. Измельчение дерева на лесосеке

Для сбора и измельчения отходов на лесосеке применяют мобильные измельчители (см. Рис. 3.10 и Рис. 3.11). Контейнер машины должен быть высокоподъемным и наклонным, чтобы иметь возможность перегружать щепу прямо в кузов грузовика (см. Рис. 3.12). Если применять контейнеровозы (см. Рис. 3.13), можно организовать вывоз вне зависимости от сбора и тем снизить время ожидания водителей. Контейнеровозы, конечно, дороже обычных грузовиков, приспособленных для перевозки щепы, но при высокой стоимости рабочей силы их применение экономически оправдано.

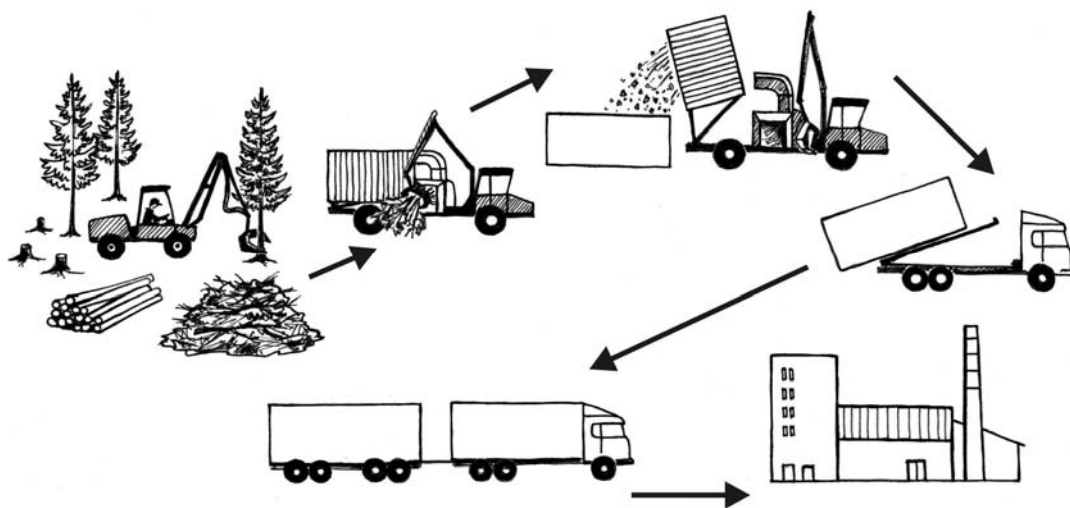


Рис. 3.10. Сбор и измельчение отходов на лесосеке мобильным измельчителем, перевозка контейнерами





*Рис. 3.11. Сбор и измельчение отходов рубки мобильным измельчителем Chipset 536С (фото П. Муйсте)*



*Рис. 3.12. Опорожнение контейнера мобильного измельчителя (фото П. Муйсте)*



*Рис. 3.13. Подъем полного контейнера на тягач (фото П. Муйсте)*

Метод измельчения на лесосеках был очень распространен в середине 90-х, но теперь его значение падает, поскольку по производительности и эффективности он уступает методу упаковки в вязанки и переработки на промежуточных складах. Так в Швеции его доля упала до 10% [31]. Мобильные измельчители - очень дорогие машины. Поскольку большая часть их рабочего времени тратится на переезд и сбор сырья, то эту работу дешевле выполнять обычными форвардерами. Для повышения производительности измельчителей увеличили их размеры, что сделало их тяжелыми и громоздкими. На слабых почвах Эстонии их можно применять только зимой. При переработке на лесосеке сырых сучьев и верхушек щепы получается высоко влажной.

### **3.2.2.2. Измельчение дерева на промежуточном складе**

В северных странах наиболее распространен метод переработки на промежуточных складах (см. Рис. 3.14), его доля в Швеции достигает 80% [31]. Можно полагать, что этот метод применим и в условиях Эстонии. Сбор отходов производится форвардером, кузов которого расширен для увеличения грузоподъемности (см. Рис. 3.15 и Рис. 3.16). Отходы рубки собирают в высокие кучи у обочины дороги, укрывают водостойкой бумагой и оставляют на просушку. Измельчение проводится следующей зимой мобильным измельчителем (см. Рис. 3.17, Рис. 3.18 и Рис. 3.19), перевозка щепы – специализированными контейнеровозами (см. Рис. 3.20). Если расстояние до потребителя невелико, может быть целесообразным установить измельчитель на грузовике (см. Рис. 3.14b).

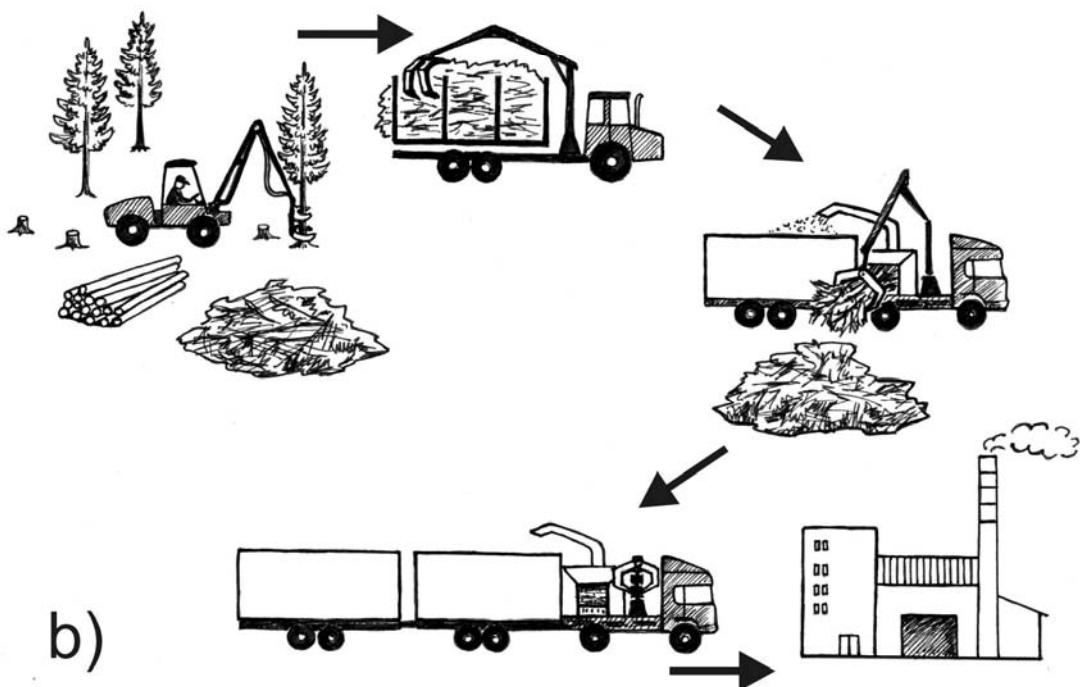
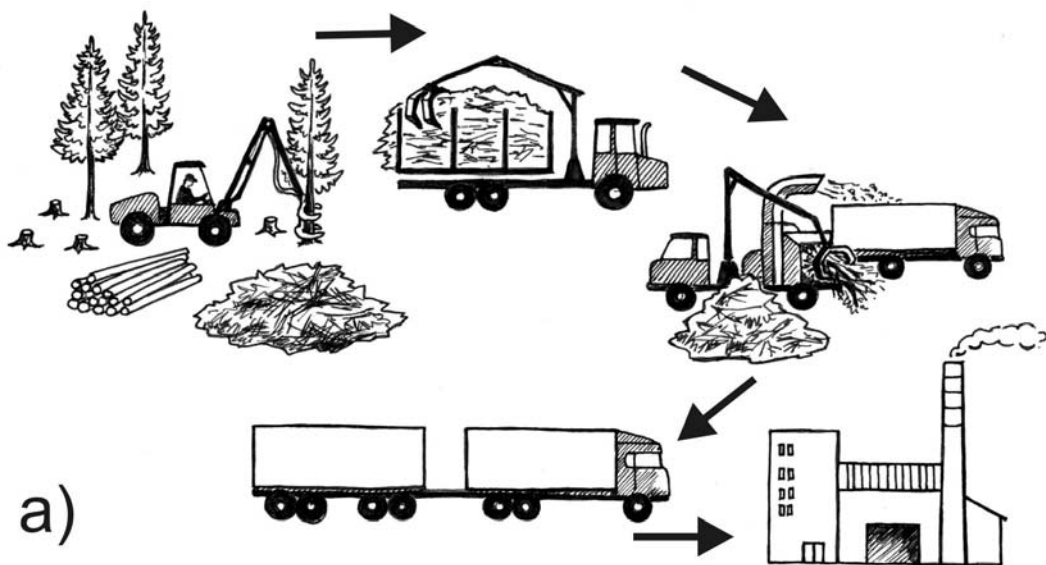


Рис. 3.14. Измельчение отходов рубки на промежуточном складе

- a) сбор отходов форвардером, измельчение мобильным измельчителем и перевозка специальным грузовиком
- b) сбор отходов форвардером, измельчение и перевозка грузовиком, оборудованным измельчителем.





Рис. 3.15. Сбор отходов на лесосеке (фото П. Муйсте)



Рис. 3.18. Склад отходов рубки под водостойкой бумагой (фото П. Муйсте)

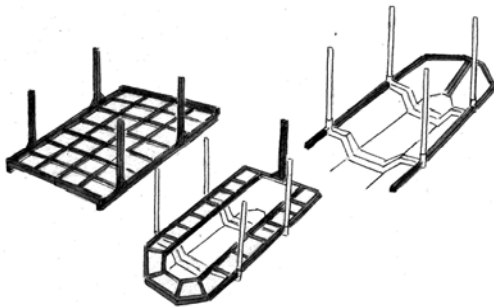


Рис. 3.16. Возможности приспособить лесной трактор для перевозки отходов рубки [32]



Рис. 3.19. Измельчение отходов рубки (фото П. Муйсте)



Рис. 3.17. Складирование отходов рубки (фото П. Муйсте)



Рис. 3.20. Перевозка щепы контейнеровозом (фото П. Муйсте)

### 3.2.2.3. Измельчение отходов рубки на конечном складе вблизи потребителя

При переработке отходов рубки на конечном складе вблизи потребителя есть возможность применять стационарное высокопроизводительное оборудование с электроприводом, что удешевляет процесс. В больших терминалах легче контролировать качество топлива и сортировать по фракциям. Перевозить отходы рубки в конечный склад можно в исходном виде (см. Рис. 3.21) либо в уплотненных вязанках (см. Рис. 3.22).

В первом случае для сбора отходов рубки применяют трелевщики, для перевозки по дорогам – приспособленные для этого грузовики. Поскольку плотность отходов рубки низкая, грузоподъемность грузовиков не удается использовать в полной мере. Для уплотнения груза эти грузовики оборудованы гидравлическими захватами, позволяющими уплотнять массу сучьев. В северных странах разрешено использовать большегрузы (общим весом до 60 тонн и длиной до 24 м), поэтому перевозка отходов рубки в исходном виде также часто экономически оправдана. И все-таки этот метод распространен мало и,

например, в Швеции его доля менее 10%. В Эстонии нормы ограничивают общий вес 40 тоннами и длину 18,35 м, поэтому перевозка отходов рубки в исходном виде не окупается.

Новое технологическое решение для снижения транспортных расходов – предварительное пакетирование отходов рубки (см. Рис. 3.22). В качестве базовой машины пакетировщика обычно применяют форвардер, чтобы прессовать прямо на лесосеке. Технология имеет следующие преимущества:

- для перевозки вязанок можно применять существующие трелевщики и грузовики;
- вязанки проще складировать и сушить и они круглый год доступны;
- при складировании вязанок в конечном складе вблизи потребителя снижается опасность вредителей и пожара;
- для измельчения вязанок можно применять высокопроизводительное стационарное оборудование;
- эффективная логистика позволяет увеличить площадь снабжения до 200 км (для щепы, например, в Швеции она составляет 60 – 75 км [31]).

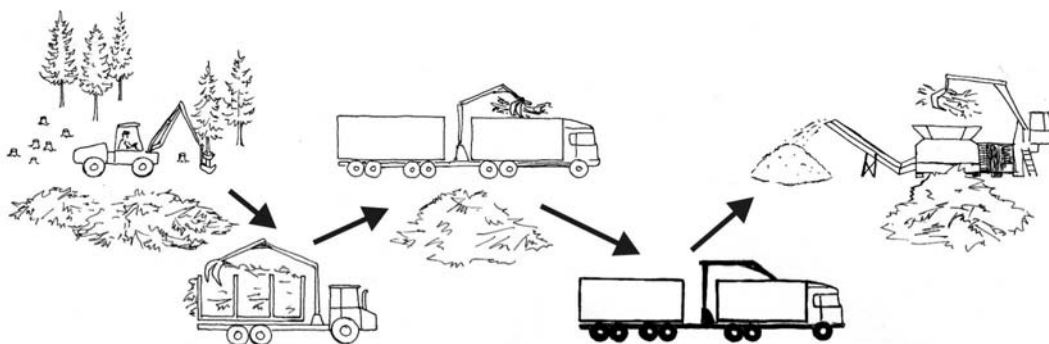


Рис. 3.21. Перевозка щепы контейнеровозами

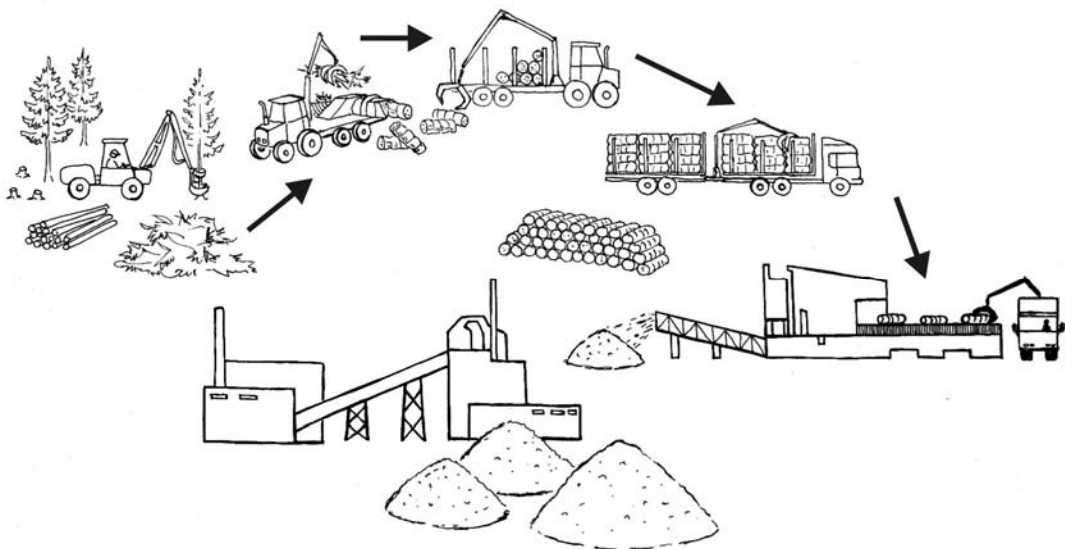


Рис. 3.22. Упаковка отходов рубки в вязанки, перевозка обычными форвардерами и лесовозами, измельчение в конечном складе

При продолжающемся повышении цен на топливо могут стать экономически выгодными и не используемые до сих пор пни и корни [27]. Для корчевания пней применяют экскаваторы, для сбора – форвардеры и перевозки – грузовики с закрытыми кузовами (см. Рис. 3.23). Для их измельчения следует вместо

измельчителей применять дробилки, поскольку включения в виде земли и камней выводят из строя ножи измельчителей. Включения вызывают проблемы и при сжигании, увеличивая зольность и риск шлакования и забивания колосника.

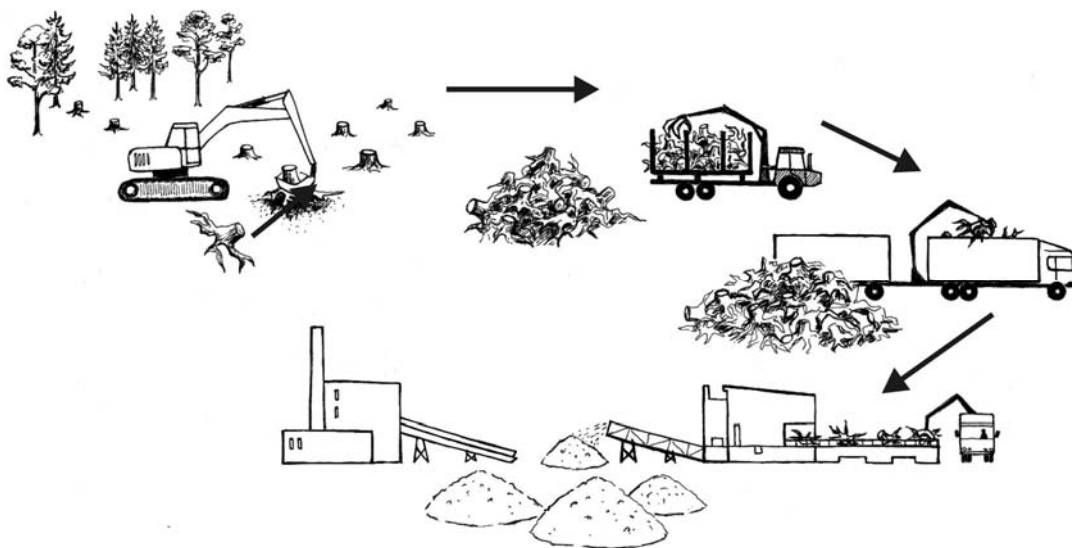


Рис. 3.23. Корчевание пней, сбор форвардером, перевозка спецтранспортом и измельчение в конечном складе.

### 3.2.3. Технологии цельных стволов и разделки на части

В 1980-х испытывали технологии разделки на части и вывоза деревьев с кроной (см. Рис. 3.24 и Рис. 3.25). Цель – за один прием вывезти из леса пиловочник, сырье для бумажной промышленности и топлива [33]. В первом случае стволы разделяют на части нужной длины на лесосеке (машинами или вручную), во втором оставляют целыми. В отличие от традиционной вырубki сучья на лесосеке не обрубали, окончательная обработка проводилась на промежуточных или конечных складах. Подбор деревьев в лесу проводили

обычными трелевщиками, по дорогам перевозили специальными грузовиками с открывающимся на бок кузовом. Главное преимущество – низкие затраты на заготовку сырья, поскольку на конечном складе вместо дорогих приводов (двигатели внутреннего сгорания) можно применять дешевые электромоторы. Главный недостаток – при переработке на конечном складе было сложнее обеспечить требуемое качество ликвидной древесины. В условиях Эстонии дополнительные проблемы создают ограничения на вес и длину транспорта, что ведет к удорожанию перевозки распиленного на куски дерева и запрету перевозки длинных стволов.

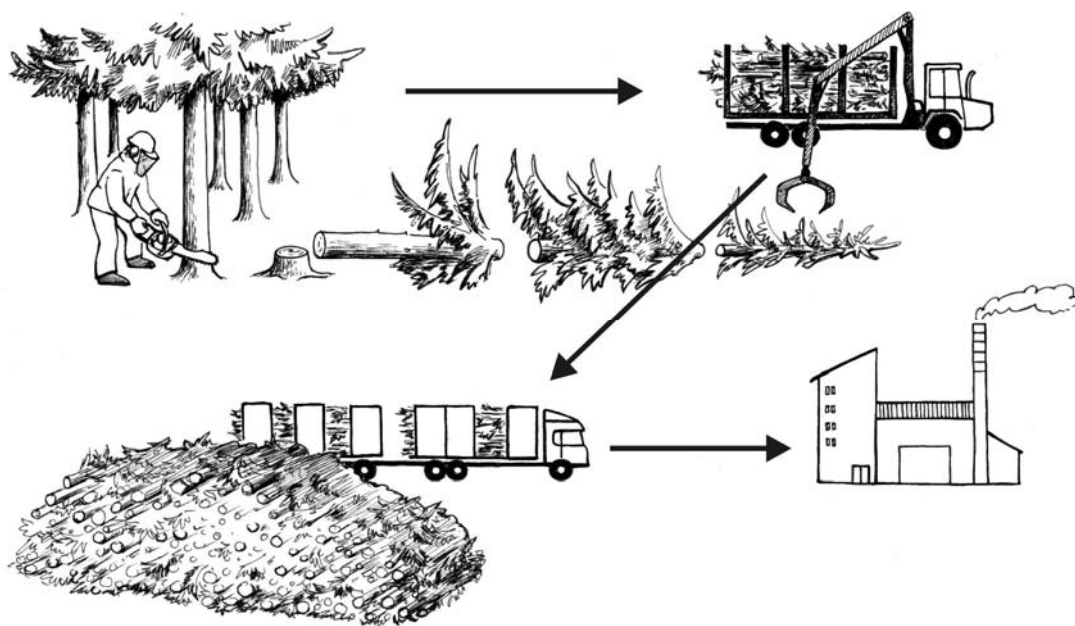


Рис. 3.24. Технология разделки дерева на части

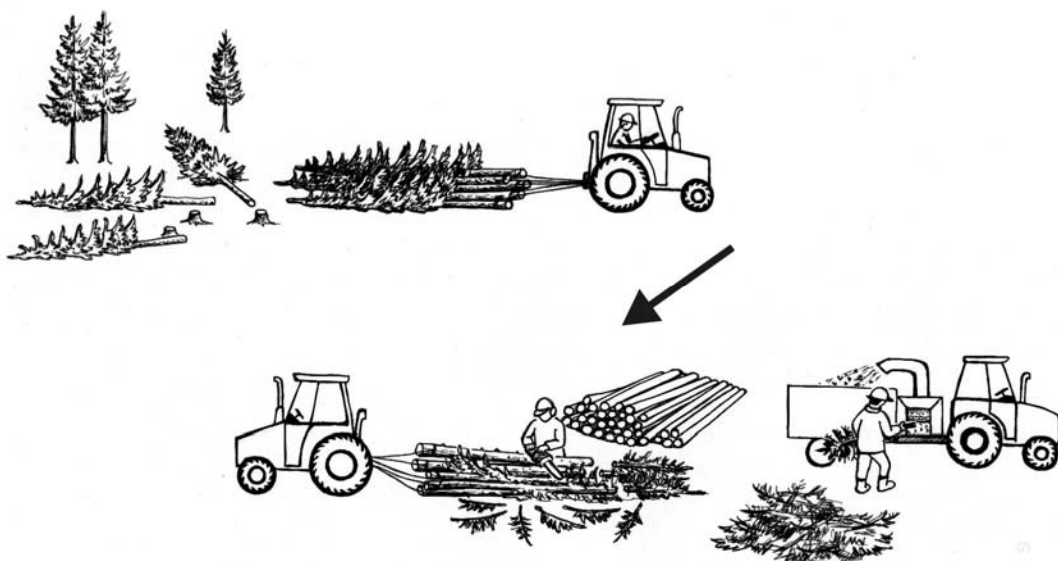


Рис. 3.25. Технология вывоза деревьев с кроной

### 3.3. Машины и оборудование для производства древесного топлива

#### 3.3.1. Измельчители дерева и дробилки

Измельчение дерева – важная операция, определяющая последующие технологии и формирование цены щепы. Выбор измельчителей достаточно широк, их производят для работы с различным приводом и установкой на разных машинах.

##### 3.3.1.1. Принципы работы

Для производства щепы применяют три типа измельчителей: дисковые, барабанные и шнековые. Для измельчения сырья, содержащего включения (почва, камни, гвозди и т.д.) применяют молотковые мельницы, валковые и щековые дробилки и прочее оборудование, но в основном это стационарное оборудование массового производства. Производимая различными измельчителями щепы различается величиной и формой.

**Дисковый измельчитель.** Рабочий орган – массивный, хорошо сбалансированный стальной диск (см. Рис. 3.26 и Рис. 3.27), на торце которого радиально закреплены 2 – 4 ножа. Регулировкой можно менять размер кусков от 12 до 35 мм. Материал подают на ножи под небольшим углом или горизонтально, если наклонен диск. Щепы отводится через трубу с помощью вентилятора. Стволы подают в измельчитель вручную или манипулятором. Преимущество дискового измельчителя – простота, дешевизна и низкое энергопотребление. Поэтому они наиболее распространены в усадебных лесах. Благодаря стабильности угла резания размер щепы более равномерный, чем у других типов измельчителей. Недостатки – чувствительность к включениям и большие габариты при малом входном отверстии.

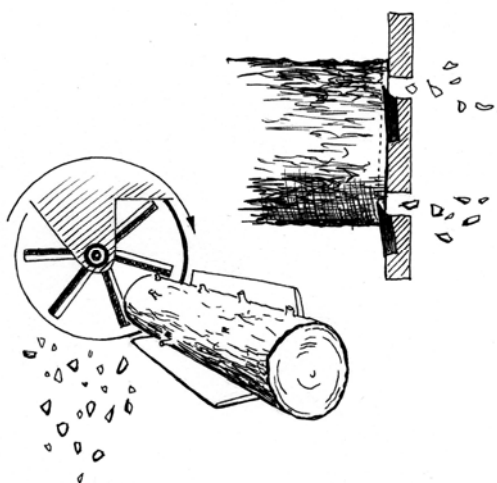


Рис. 3.26. Дискový измельчитель



Рис. 3.27. Рабочий орган дискового измельчителя

**Баранный измельчитель.** Рабочий орган – вращающийся барабан, на котором закреплены ножи (см. Рис. 3.28 и Рис. 3.29). Материал подают сбоку, обычно валками или цепным конвейером, щепу отводят вентилятором через отводную трубу. Размер щепы регулируется скоростью подачи материала.

Преимущество барабанных измельчителей – малые габариты при большом входном отверстии. Недостатки – чувствительность к инородным включениям, сложное производство и высокая стоимость. Расход энергии на 50 – 75% выше, чем у дисковых измельчителей, выше и разброс размеров щепы, зависящий от диаметра дерева. Однако для измельчения отходов рубки барабанный измельчитель подходит все же лучше, чем дисковый.

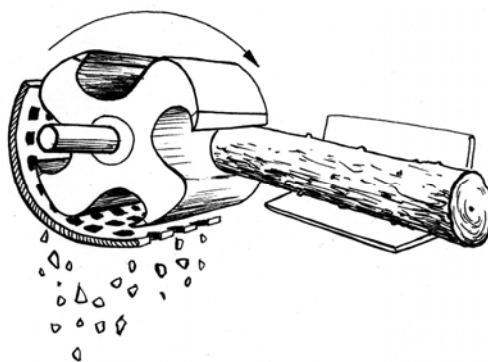


Рис. 3.28. Барабанный измельчитель



Рис. 3.29. Рабочий орган барабанного измельчителя (фото П. Муйсте)

**Винтовой или шнековый измельчитель.** Рабочий орган – шнек (см. Рис. 3.30), острые торцы которого имеют твердосплавную наплавку. При резке материал протягивается вперед, что



особенно удобно при ручной подаче. Размеры кусков зависят от вида шнека. Производимая здесь щепа неоднородна по размеру и в общем случае грубее, чем у дисковых и барабанных измельчителей. Заточка режущих кромок шнека требует специального инструмента.

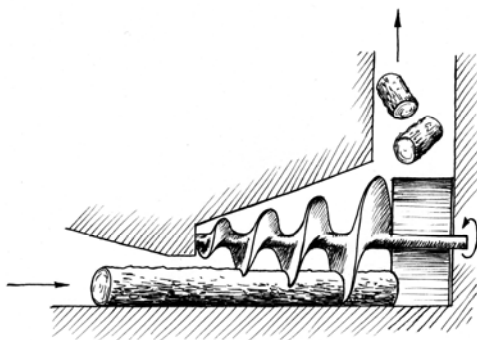


Рис. 3.30. Шнековый измельчитель

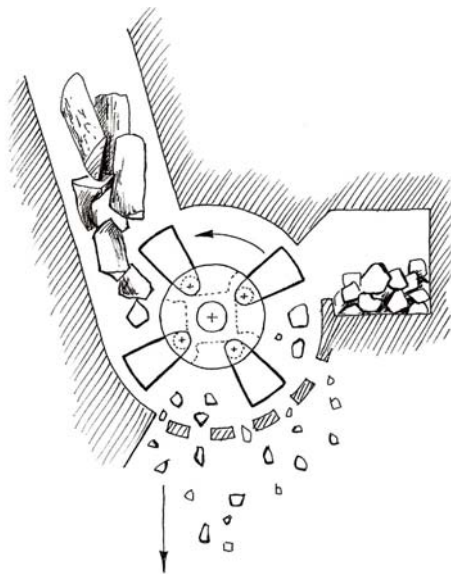


Рис. 3.31. Молотковая мельница

**Дробилки дерева.** Для топлива используют также продукт сноса деревянных строений, но для его измельчения обычные измельчители из-за включений (почва, камни, металл, стекло) непригодны. Для измельчения такого материала используют дробилки весьма различного принципа действия. Наиболее распространены молотковые мельницы, валковые и щековые дробилки (см. Рис. 3.31). В отличие от измельчителей дробилки дают древесную массу очень неоднородную по размерам и форме. Оборудование мощное и дорогое и окупается только при массовом производстве.

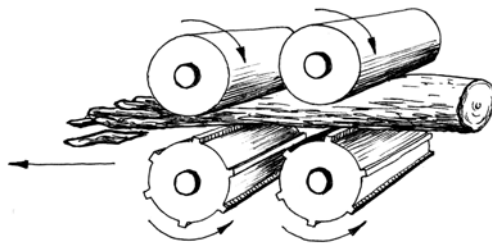


Рис. 3.32. Валковая дробилка

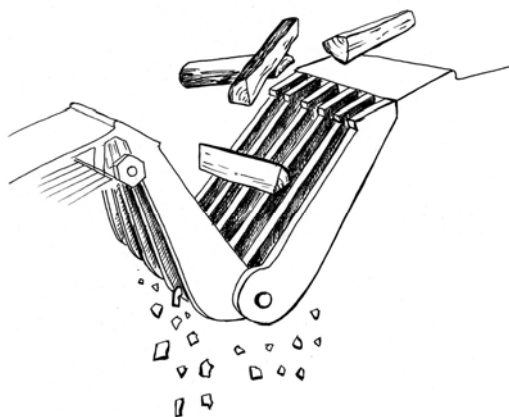


Рис. 3.33. Щековая дробилка

### 3.3.1.2. Приводы измельчителей

В зависимости от мощности и назначения измельчителей можно применять разные приводы. Маломощное оборудование может иметь привод от вала отбора мощности трактора, для более мощного измельчителя используют отдельный двигатель, и это оборудование устанавливают либо стационарно, либо на различных платформах, в качестве которых подходит, например, форвардер или грузовик. У каждой машины, начиная с измельчителя с ручной подачей и кончая современными с автоматической подачей, есть свои сферы применения. При выборе оборудования надо исходить из объема и качества сырья, технологии использования, требований к качеству щепы, системы транспорта и т.д.



Рис. 3.34. Дисковый измельчитель Junkkari HJ 10 с приводом от сельхозтрактора [34]

Технические данные: производительность 4...10 м<sup>3</sup> щепы/ч; потребляемая мощность 25...80 кВт; диаметр перерабатываемого дерева 30 см; размер кусков 10...30 мм.

Для использования в усадебных лесах лучше подходит оборудование с ручной подачей, простой конструкции, с приводом от сельскохозяйственного трактора (см. Рис. 3.34).

При больших объемах производства может быть экономически целесообразно применение мобильных подборщиков щепы. За основу обычно используют подержанный форвардер, на который устанавливают подходящей мощности измельчитель, например, *Bruks 604CT* или *Bruks 804CT* (см. Рис. 3.35). Более дорогое решение – мобильные подборщики щепы специальной конструкции (см. Рис. 3.36, Рис. 3.37 и Рис. 3.38).



Рис. 3.35. Мобильный подборщик щепы (фото П. Муйсте)



Рис. 3.36. Мобильный подборщик щепы, Silvatec 878 CH [35] (фото П. Муйсте)

Мощность агрегата 205 кВт, диаметр диска 1200 мм, отверстие загрузки 350x350 мм, объем контейнера 16 м<sup>3</sup>, захват манипулятора 6 м.



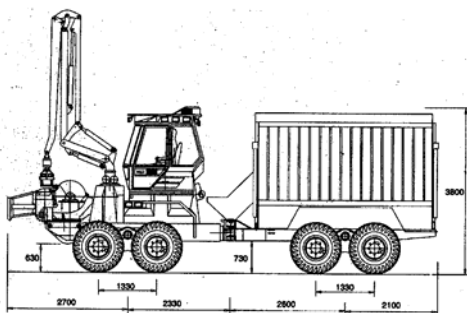


Рис. 3.37. Мобильный подборщик щепы Chirpset 536 C [36]

Мощность агрегата 223 кВт, наибольший диаметр ствола 350 мм, объем контейнера 15 м<sup>3</sup>, производительность 60 м<sup>3</sup>/ч, захват манипулятора 8,3 м.

Для измельчения отходов рубки в промежуточном складе у края лесосеки или на обочине дороги можно в качестве базовой машины для измельчителя успешно использовать бывший в употреблении зерновой комбайн (см. Рис. 3.39), экскаватор (см. Рис. 3.40) или грузовик (см. Рис. 3.41). На Рис. 3.42 представлен грузовик, приспособленный для перевозки щепы и оборудованный измельчителем.

Однако самые мощные измельчители установлены на трейлеры, их производительность может достигать 300 м<sup>3</sup> щепы в час (см. Рис. 3.43).



Рис. 3.38. Мобильный подборщик щепы Erjofanten 7/65 (фото П. Муйсте)



Рис. 3.39. Комбайн в качестве базовой машины [37]

Мощность 185 – 370 кВт, диаметр барабана 600 мм, отверстие загрузки 690х350 мм, производительность 50–80 м<sup>3</sup>/ч, захват манипулятора 7,5 м.



Рис. 3.40. Экскаватор как база измельчителя (фото П. Муйсте)



Рис. 3.41. На грузовике установлен измельчитель Giant [38]

Мощность 403 кВт, диаметр барабана 900 мм, ширина приемного отверстия 1400 мм, производительность 120 – 200 м<sup>3</sup>/ч, захват манипулятора 10 м.



Рис. 3.42. Контейнеровоз с измельчителем MoHa [38]



Рис. 3.43. Дисковый измельчитель Morbark 30 на трейлере [39]

Мощность агрегата 600 кВт, максимальный диаметр ствола 760 мм, диаметр диска 2100 мм, 3 ножа.

### 3.3.2. Упаковщик отходов рубки

Разработку пакетируемых отходов рубки начали в Швеции, один из них, *Fiberpac 370*, представлен на Рис. 3.44. В Швеции он остался невостребованным, но был востребован в Финляндии, где использование щепы росло. Поэтому права на технологию купил *Timberjack*, и итогом развития стал модернизированный серийно выпускаемый вариант пакетирующего *Timberjack 1490D* (см. Рис. 3.45).



Рис. 3.44. *Fiberpac 370* на выставке *Elmia Wood 2001* (фото П. Муйсте)

Интерес к пакетируемым отходам рубки возник и у других производителей, но они больше внимания уделяли сменному оборудованию. Так, например, *Pinox 330* [40] и *Valmet WoodPac* (см. Рис. 3.46) просто устанавливаются на раму обычного форвардера, и это позволяет одну



базовую машину использовать для подборки отходов рубки и их упаковки в вязанки. Производительность машины – 10 – 30 вязанок сучьев в час.



Рис. 3.45. Timberjack 1490D [41]



Рис. 3.48. Для перевозки вязанок можно использовать обычный лесозовный прицеп (фото П. Муйсте)



Рис. 3.46 Valmet WoodPac [42]



Рис. 3.47. Вязанки отходов рубки (фото П. Муйсте)

Вес вязанки – 400 – 600 кг, длина 3,1 – 3,2 м, диаметр 700 – 800 мм, энергосодержание 1 МВт·ч.

### 3.3.3. Оборудование для колки поленьев

Основным топливом для печей, плит и каминов в сельских домах остаются дрова. Колка дров может быть приятным времяпрепровождением и нагрузкой для тела, однако заготовка на зиму в больших количествах все-таки тяжелая физическая работа. Человек старается по возможности облегчить свою работу и для колки дров также выдумал различные машины.

Самые простые и дешевые колуны – с конусом в качестве рабочего органа. Колун крепят в трех точках на подвесной раме трактора и приводят в действие от вала отбора мощности (см. Рис. 3.49). Длина раскалываемого чурбака может быть до 0,7 м, производительность по литературным данным в среднем 2 м<sup>3</sup>/ч. Приводом может быть и электромотор.



*Рис. 3.49. Конусный колун объединенный с окоривателем [43]*

Часто колун объединен с дисковой или цепной пилой (см. Рис. 3.50). Это позволяет заготавливать поленья прямо в лесу.



*Рис. 3.50. Машина Hakke Pilke Eagle с коническим колун и дисковой пилой [44]*

При той же производительности более удобны в использовании клинообразные колун с гидроприводом (см. Рис. 3.51), но они дороже конусных.

Производят также машины, позволяющие одновременно распилить чурбаки, колоть их и укладывать на трактор-

ный прицеп. Машину крепят на подвесной раме трактора и приводят в действие от вала отбора мощности. Передача должна быть оборудована защитным сцеплением. С учетом высокой производительности и стоимости машины нецелесообразно покупать ее для одной усадьбы. При производстве дров на продажу машина быстро окупается.



*Рис. 3.51. Клинообразные колун с гидроприводом [45]*



*Рис. 3.52. Комбинированный колун Jara 2000 [46]*

Гидравлически управляемая цепная пила и гидравлический колун, максимальный диаметр чурбака 300 мм, длина 600 мм, потребляемая мощность 7,5 кВт, производительность 7 – 14 м<sup>3</sup>/ч.



### 3.3.4. Режущая и подбирающая головка

При рубках осветления молодого леса в больших объемах образуется материал, который не находит промышленного применения, но применим в качестве топлива. Для механизации работ созданы подбирающие и режущие

харвестерные головки (см. Рис. 3.53), способные собирать в пучки срезаемые тонкие стволы. Это оборудование позволяет за одну операцию автоматически срезать и собрать до 10 тонких стволов, что существенно повышает производительность рубок осветления. Режущий орган головки – нож, работающий по принципу гильотины.



Рис. 3.53. Собирающие головки Timberjack 720 ja Timberjack 730 [41]

### 3.4. Показатели, влияющие на качество древесного топлива

Условия складирования существенно влияют на качество древесного топлива. Шведские данные [32] по отходам

рубки и щепе приведены в таблицах (см. Таблица 3.3 и Таблица 3.4).

Представленные данные показывают, что при длительном хранении древесного топлива предпочтительны большие кучи, как для отходов рубки, так и для щепы.

Таблица 3.3. Изменение качества отходов рубки при хранении [32]

Метод хранения	Потеря биомассы, %	Изменение теплоты сгорания, %
В малых кучах на лесосеке до августа	– 10	0
В малых кучах на лесосеке до октября	– 25	– 23
В больших 4 м открытых кучах до сентября	– 1	+ 4
В больших 4 м крытых кучах до декабря	– 2	+ 4 ... +10

Таблица 3.4. Изменение качества щепы при хранении [32]

Метод хранения	Потеря биомассы, %	Изменение теплоты сгорания, %
В малых (<60 м <sup>3</sup> ) крытых кучах с мая по ноябрь	– 18	– 7
В малых (<60 м <sup>3</sup> ) открытых кучах с мая по ноябрь	– 20	– 18
В малых (<60 м <sup>3</sup> ) кучах с мая по январь	– 23	– 23
В больших (>6000 м <sup>3</sup> ) крытых и уплотненных кучах с июня по январь	– 10	– 5
В больших (>6000 м <sup>3</sup> ) открытых и уплотненных кучах с июня по январь	– 12	– 12
В больших (>6000 м <sup>3</sup> ) крытых и не уплотненных кучах с июня по январь	– 7	– 1
В больших (>6000 м <sup>3</sup> ) открытых и не уплотненных кучах с июня по январь	– 8	– 4

### 3.5. Производство улучшенного топлива

#### 3.5.1. Общие сведения

Дерево имеет клеточное строение и поэтому в необработанном виде объемное энергосодержание древесного топлива не очень высоко. Для получения однородных древесных топлив с высокой теплотой сгорания применяют прессование, в ходе которого под действием высокого давления и нагрева спрессовываются все пустоты.

Плотность прессованного топлива может достигать 1300 кг/м<sup>3</sup>, что ненамного ниже плотности материала дерева (по литературным данным [47] в среднем 1500 кг/м<sup>3</sup>). В ходе прессования происходят следующие процессы:

- материал испытывает со стороны пресса высокое давление;
- трение между частицами, а также между частицами и прессом приводит к росту температуры;

- как следствие высокой температуры и давления клеточная структура разрушается;
- лигнин дерева от нагрева размягчается и склеивает прессуемые частицы.

Поскольку при прессовании химические процессы не протекают, то теплота сгорания получаемого топлива на единицу массы не меняется, но на единицу объема возрастает. Прессованное топливо имеет перед непрессованным следующие преимущества:

- благодаря меньшей влажности и более высокой теплотворной способности прессованное топливо дешевле перевозить и складировать;
- сухое топливо не будет биологически разлагаться под действием грибков и бактерий, значит его можно дольше хранить;
- однородная влажность и размер кусков прессованного топлива позволяет точнее регулировать режим горения в топке, обеспечивая тем самым более высокий к.п.д.

Недостаток прессованного топлива – более высокая стоимость. Прессованное топливо выпускают в виде брикетов (диаметр кусков 30 – 100 мм) и пеллетов (диаметр кусков 6 – 12 мм). Брикеты подходят для использования, в первую очередь, в печах и каминах, пеллеты – в автоматизированных сжигающих установках.

### 3.5.2. Брикеты

Для производства древесных брикетов применяют поршневые и шнековые прессы (см. Рис. 3.54 и Рис. 3.55), сырье – опилки и стружки [48]. Перед прессованием материал дополнительно измельчают и подсушивают (влажность не должна превышать 12 – 14%).

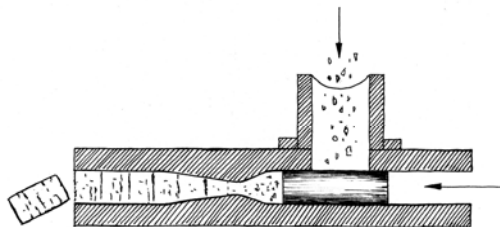


Рис. 3.54. Поршневой пресс

Поршневой пресс работает циклически – при каждом ходе поршня продавливают определенное количество материала через коническое сопло, на брикетах четко различимы соответствующие циклам слои. В приводе всегда применяется маховик, позволяющий выровнять нагрузку двигателя. Износ поршня невелик, поскольку относительное перемещение между прессуемым материалом и поршнем мало, быстро изнашивается сопло. Поршневые прессы относительно дешевы и поэтому широко распространены.

Шнековый пресс легче поршневого, поскольку отсутствуют массивные поршни и маховики. Продукция выходит непрерывно, поэтому ее можно резать на нужные куски [49]. Плотность выше, чем у поршневых прессов. Шнековые прессы менее шумные, благодаря отсутствию ударных нагрузок.

К недостаткам можно отнести больший расход энергии и быстрый износ шнека. Для снижения расхода энергии можно нагревать сопло. В этом случае получают брикеты со слегка оплавленной поверхностью, их легче поджечь. Оплавленная поверхность препятствует также увлажнению.

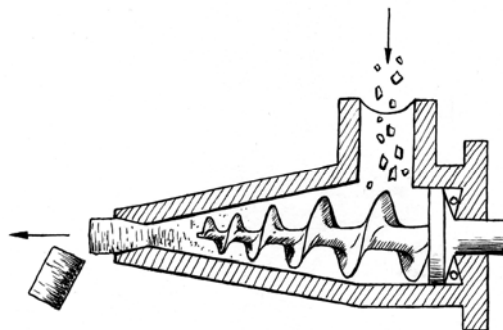


Рис. 3.55. Шнековый пресс

### 3.5.3. Пеллеты

Для производства пеллет наиболее широко применяют цилиндрические матричные прессы (см. Рис. 3.56 [48]), много реж – плоскоматричные (см. Рис. 3.57 [49]). В ходе прессования материал нагревается, лигнин размягчается и валками продавливается через конические отверстия матрицы (см. Рис. 3.58).

Изготовление пеллет состоит из 4 этапов:

#### 1. Сушка сырья.

Влажность сырья для пеллет зависит от условий хранения. Поскольку обычно сырье хранится под открытым небом, то до прессования его необходимо высушить до требуемого уровня влажности (12–17%). Слишком сухой материал может оплавиться, слишком влажный не позволит частицам склеиться.

#### 2. Измельчение сырья.

Сырье для производства пеллет (опилки и стружки) неоднородны по размеру. Перед прессованием сырье необходимо гомогенизировать и для

этого обычно применяют молотковые мельницы.

3. Прессование пеллетов матричными прессами.
4. Охлаждение.

Пеллеты выходят из пресса горячими, и во избежание самовозгорания их следует до складирования охладить.

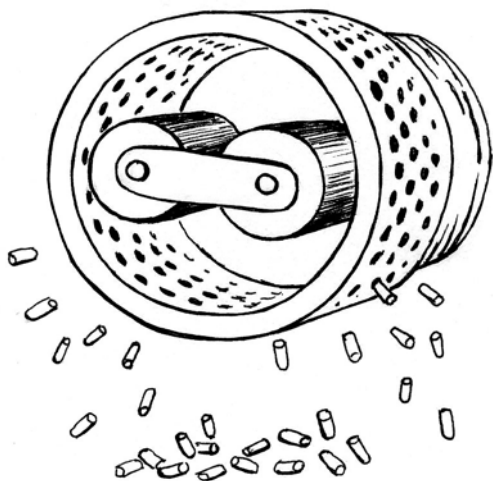


Рис. 3.56. Цилиндрический матричный пресс



Рис. 3.57. Плоскоматричный пресс



Рис. 3.58. Цилиндрическая матрица (фото П. Муйсте)

Высокая сыпучесть пеллетов позволяет организовать гибкую систему распределения (см. Рис. 3.59), которая обеспечивает эффективную логистику как для крупных, так и для мелких потребителей. Поскольку пеллеты пригодны для использования и в котельных с автоматизированными системами подачи и горения, они вполне конкурентоспособны в качестве альтернативного топлива.

### 3.6. Заготовка соломы на топливо

Солома – попутный продукт зерноводства, частично используется в сельском хозяйстве, но может применяться и в качестве топлива.

После уборки зерна комбайнами солома остается на поле, отсюда ее надо как можно быстрее собрать. Одна из возможностей – одновременный подбор валков, измельчение и погрузка на транспорт (см. Рис. 3.60). Поскольку плотность измельченной соломы очень низкая, такая технология применима только для перевозок на короткие расстояния.





Рис. 3.59. Схема снабжения пеллетами



Рис. 3.60. Подбор соломы, измельчение и погрузка в транспорт [50]

В зерноводстве стало преобладающим прессование соломы в различного объема тюки и вязанки, плотность которых в зависимости от метода прессования и размеров достигает  $110 - 165 \text{ кг/м}^3$  [50]. Для подбора тюков применяют широко распространенные в сельском хозяйстве подъемники, тракторные тележки и прочие подходящие механизмы [50].



Рис. 3.61. Подбор валков и прессование в крупные тюки, около 500 кг каждый [50]

Заготовка соломы происходит в короткий период уборки зерновых (обычно в августе). Для ее использования в качестве топлива на весь отопительный период нужны большие склады. Для сохранения качества соломы и во избежание самовозгорания и гниения,

сбор и складирование соломы следует проводить при влажности до 25% (см. п. 2.3). Более влажную солому перед укладкой в хранилище надо просушить.



*Рис. 3.62. Погрузка тюков смонтированным на тракторе фронтальным подъемником [50]*



*Рис. 3.63. Крепление тюков ремнями, необходимое для обеспечения устойчивости груза при перевозке [50]*

Для просушки обычно достаточно продувать солому холодным воздухом, для этого в полу хранилища должны быть каналы, куда воздух подают вентиляторами. Этот прием применяют и для просушки до нужной влажности сена, заготовленного на корм скота. Для хранения соломы вполне подходят сальные сараи, однако в Эстонии, например, за последние 15 лет они в большинстве своем разрушились или снесены.

### **3.7. Производство торфа**

До начала заготовки торфа торфяник или торфяное болото следует подготовить. На первом этапе удаляют растительность, выравнивают площадку и пытаются выкорчевать пни (см. Рис. 3.64). Если пни глубокие и остаются в болоте, они могут сильно осложнить работу торфозаготовительных машин.



*Рис. 3.64. Удаление растительности и выравнивание площадки агрегатом RT-6.0H финской фирмы Suokone OY*

В природных условиях слой торфа пропитан почвенными водами, влажность торфа превышает 90%. До начала добычи следует понизить уровень почвенных вод. С этой целью торфяные поля прорезают сетью осушительных канав. В торфяной почве это можно выполнить прессованием (см. Рис. 3.65). Отводимая вода (почвенная и осадки) содержит органические включения, твердые частицы, а также соединения железа, фосфора и азота. В связи с этим необходимо до сброса в природный водоем проверить ее качество и при необходимости профильтровать или очистить [51], [52].

При производстве торфа действуют общие природоохранные требования и ограничения, которые по странам и регионам могут существенно различаться.

В странах Балтии торф подбирают с поверхности торфяных полей, в первую очередь используют торф с низкой степенью разложения, затем с высокой, из которого и делают топливо.

Возможна и выборка торфа сразу на всю глубину слоя. Такой способ добычи торфа внедрен в Ирландии, но попытки его применения, например в Эстонии, были неудачными, нет сведений и о применении в других странах Балтии.



*Рис. 3.65. Прессование осушающих канав в почве торфяника агрегатом OJ-1.3K финской фирмы Suokone OY*

Производство торфа работа сезонная. Весной ее можно начать сразу после таяния снега и оттаивания почвы. Ранней весной влажность воздуха низкая, что создает очень подходящие условия для естественной сушки торфа. Во второй половине лета влажность воздуха растет, и начиная с августа торф для сушки не добывают.

На добычу торфа сильно влияет погода. В дождливое лето производство торфа может быть в несколько раз ниже, чем в сухое.

### **3.7.1. Фрезерный торф**

Большую долю торфа (в том числе топливного) составляет фрезерный торф. Главный слой торфяного поля фрезируют и измельченным оставляют сушиться. Для ускорения сушки слой торфа перемешивают, после высушивания до нужной влажности собирают и складывают либо на краю болота, либо неподалеку от торфобрикетного завода. При выборе места для хранения важно учесть необходимость подъезда к нему больших грузовиков в течение всей зимы. Рядом с котельными больших складов торфа обычно не устраивают.

Во избежание увлажнения от дождя и снега верхний слой торфа в куче уплотняют или покрывают пленкой. Строительство навеса или закрытого хранилища как правило слишком дорого и прямой необходимости в этих расходах нет.

Фрезерный торф в качестве топлива используют, в основном, на крупных сжигающих установках, значительную часть используют для производства торфобрикета. Из него можно изготовить также и пеллеты.

### **3.7.2. Кусковой торф**

Исторически кусковой торф производят в больших прессах с сушилками, но к настоящему времени распространилась, в основном, технология, когда с поверхности болота дисковой фрезой срезают торфяную массу, прессуют цилиндрические куски и оставляют их там же для естественной сушки (см. Рис. 3.66). След фрезы на почве болота глубиной около полуметра и шириной десять сантиметров сразу закрывается и видимой борозды не остается.

Для ускорения сушки слой кускового торфа поворачивают, затем сгребают в валки чтобы облегчить сбор.



*Рис. 3.66. Фрезирование массы торфа из торфяника и прессование кускового торфа агрегатом PK-1S финской фирмы Suokone OY*

Скорость высыхания кускового торфа несколько меньше зависит от погоды, чем фрезерного, поскольку у него мень-



ше контакт с поверхностью болота. В Финляндии развиты такие технологические решения, где кусковой торф прессуют волнообразным, и это еще больше ускоряет сушку (см. Рис. 3.67). В среднем за лето удается на болоте вырезать, высушить и собрать от двух до трех “урожаев” кускового торфа.

Как фрезерный, так и кусковой торф хранят на краю болота в местах доступных для больших грузовиков.



*Рис. 3.67. Волнообразно прессованный кусковой торф, имеющий минимальный контакт с поверхностью болота и быстрее сохнущий*

Качество кускового торфа сильно зависит от того, в какой степени измельчены куски и тонкая фракция (см. п. 2.5.3). Хотя технологии стремятся избежать измельчения, для получения высококачественного кускового торфа тонкую фракцию необходимо просеять и оставить на поверхности. Оставленная мелочь не пропадает, ее используют в следующем производственном цикле.

### **3.7.3. Улучшенные топлива из торфа**

Среди улучшенных топлив из торфа широко распространены торфобрикеты, производимые из фрезерного торфа. Как правило, заводы по производству торфобрикетов находятся вблизи торфяников. Чтобы производство брикетов было непрерывным надо заготовить за лето фрезторфа столько, чтобы хватило на весь год. Чтобы избежать простоев, вызванных нехваткой сырья, в течение хорошего лета заготавливают запас фрезторфа и на следующий год, который может быть дождливым и для заготовки торфа малопригодным.

Из фрезторфа можно производить и пеллеты. Применяют прессы, подобные прессам для производства древесных брикетов (см. п. 3.5.3, Рис. 3.56 и Рис. 3.58).

Внедрены две различные технологии производства торфопеллетов – прямо на болоте и на заводе. Фрезторф для производства пеллетов должен быть как можно суше, поскольку дальнейшая сушка происходит только за счет энергии, высвобождаемой при прессовании. На заводах пеллеты дополнительно подсушивают, поэтому они суше производимых прямо на болоте.

Торфопеллеты до сих пор не приобрели такой популярности и распространения, как древесные. Даже в Финляндии, являющейся самым важным среди стран Балтии производителем торфа и создателем технологий, торфопеллеты производятся эпизодически. Однако, учитывая высокую скорость распространения древесных пеллетов, можно прогнозировать и расширение круга потребителей торфопеллетов.

## 4. ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ БИОТОПЛИВА И ТОРФА

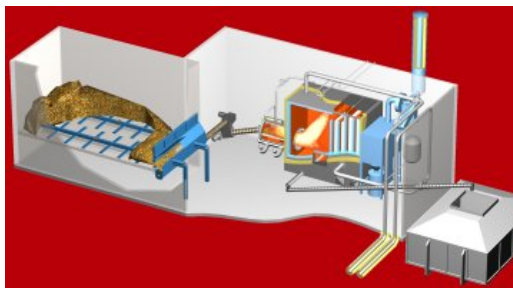
Котельная, работающая на биотопливе или торфе, состоит из следующих основных частей (см. Рис. 4.1):

- топливного склада, который может состоять, например, из топливоприемного узла, основного склада, автоматизированного склада или немеханизированной части основного склада и т.д.;
- устройств топливоподдачи, необходимых для транспортировки топлива из основного склада в автоматизированный и оттуда в топку;
- топки и котла;
- устройств очистки дымовых газов (батарейного циклона, рукавного фильтра и т.д.) и дымовой трубы;
- оборудования золоудаления;
- дутьевых вентиляторов, дымососа, средств автоматического регулирования и обеспечения безопасности.

Как топочные устройства так и вся технологическая схема и решение котельной усложнены настолько, насколько разнообразно и насколько низкого качества топливо используется в котельной. Для того чтобы оптимизировать расходы и стоимость производимого тепла, на малом оборудовании стремятся использовать более качественное топливо, например, пеллеты. Использование влажной щепы, коры и отходов приводит к необходимости применения сложных технологических решений и как правило с точки зрения экономической целесообразности это является оправданным при больших мощностях.

Топка вместе с котлом является основной технологической единицей котельной. Конфигурация топки и выбор технологии сжигания сильно зависят от свойств топлива (теплота сгорания, содержание летучих, влажность и т.д.).

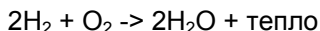
Для того, чтобы уметь правильно выбрать и эксплуатировать оборудование по сжиганию биотоплива и торфа, необходимо понимание сложных особенностей горения такого топлива.



*Рис. 4.1. Простейшая схема размещения оборудования в котельной на биотопливе, Thermia OY, Финляндия*

### 4.1. Горение биотоплива и торфа

В топливе содержится три химических элемента, при горении которых выделяется тепло: углерод (C), водород (H) и сера (S), их полное горение происходит по следующим результирующим химическим реакциями:



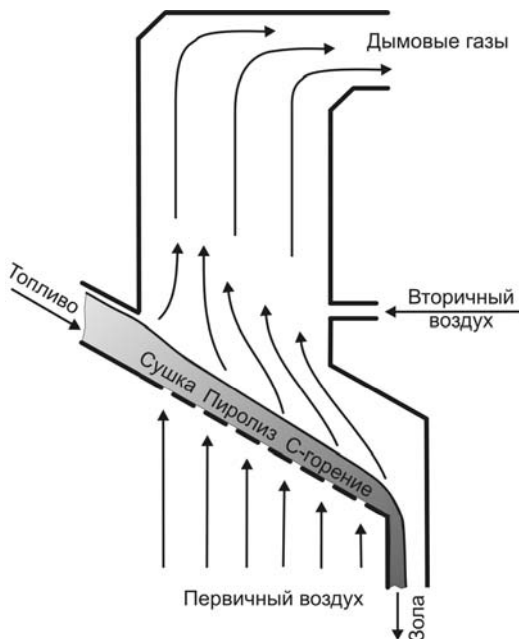
При горении в качестве окислителя используется кислород атмосферного воздуха. В ходе горения образуются следующие продукты сгорания: углекислый газ ( $CO_2$ ), водяной пар ( $H_2O$ ) и диоксид серы ( $SO_2$ ). Хотя горение серы происходит также с выделением тепла, присутствие серы в топливе считается крайне нежелательным, ввиду своего воздействия на окружающую среду и опасности возникновения коррозии поверхностей нагрева.

#### 4.1.1. Зоны и этапы горения топлива

Горение влажного твердого топлива наглядно может быть показано на примере его горения на решетке, где часть процессов происходит в слое топлива, а часть - в топочном объеме.

На решетке протекают следующие процессы (см Рис. 4.2):

- процесс сушки - начинается сразу после попадания топлива на решетку, поскольку температура слоя начинает увеличиваться;
- процесс выделения летучих – начинается при температуре топлива 100 – 105°C (прежде всего углеводородов), в результате структура топливных частичек становится пористой;
- воспламенение топлива - в зависимости от его вида происходит в диапазоне температур 220 – 300°C [53]: хвойное дерево воспламеняется при 220°C, лиственное - до 300°C и сухой торф при 225 – 280°C;
- горение углерода - заканчивается при температурах 800 – 900°C, и зола обрушивается с решетки в золовой бункер.



*Рис. 4.2. Зоны горения влажного биотоплива на наклонной решетке*

Происходящие на решетке процессы могут быть разделены на эндотермические, при которых происходит по-

глощение тепла (сушка и пиролиз) и экзотермические – с выделением тепла (горение).

Прогрев топлива в зоне сушки и в верхней части зоны пиролиза (начальная часть) происходит, в основном, за счет излучения пламени и горячих поверхностей топки, так как между кусочками топлива, находящихся в зонах горения и сушки, отсутствует непосредственный контакт.

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

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

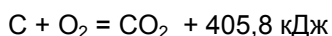
Основное тепловыделение при сжигании биотоплива и торфа, ввиду высокого выхода летучих у этих топлив, происходит не в слое топлива, а в топочном

объеме. Горение летучих, выделившихся в результате пиролиза, начинается в топочном объеме при температуре 500 – 600°С. Воспламенение летучих происходит при определенной температуре, а также при наличии в топочном объеме свежего воздуха. Воздух на горение, подающийся снизу решетки, обыкновенно называют первичным или нижним дутьем, а дополнительный воздух, необходимый для горения летучих, называют вторичным или верхним дутьем, причем при сжигании таких топлив доля вторичного воздуха превышает долю первичного воздуха.

#### 4.1.2. О возможности регулирования температуры слоя топлива

Характер и взаимосвязь процессов, происходящих в слое топлива на решетке, с летучими в топочном объеме, напрямую оказывают влияние на температурный режим топки.

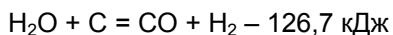
Основной реакцией на решетке с выделением теплоты является реакция горения углерода:



Образовавшийся в результате данной реакции горячий углекислый газ в обедненных кислородом зонах при соприкосновении с раскаленным коксом может отдать часть кислорода, вызывая охлаждение слоя:

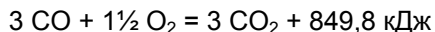
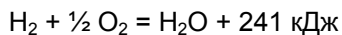


Вторичной реакцией, также приводящей к охлаждению слоя, может стать реакция взаимодействия водяного пара, содержащегося в подающемся на горение воздухе и образующегося в результате сушки топлива, с раскаленным коксом:



Образовавшиеся в результате двух последних реакций угарный газ (CO) и газообразный водород, увеличивают тепловыделение в топочном объеме, поскольку здесь кроме горения летучих

(углеводородов), происходит дополнительно окисление угарного газа до углекислого газа и горение водорода:



Таким образом, затраченное в слое тепло на образование угарного газа и водорода, высвобождается в топочном объеме.

Доля эндотермических реакций, охлаждающих слой топлива и участвующих в формировании определенной температуры слоя, может быть увеличена путем направления дымовых газов под решетку. Такой способ называют рециркуляцией дымовых газов и применяют при сжигании более сухих топлив, топлив с высокой теплотворной способностью или с малым содержанием летучих в топках, спроектированных для сжигания влажного топлива.

Основной целью регулирования температуры решетки и горящего слоя топлива на решетке является предотвращение плавления золы и забивания решетки (см. также пункт 4.1.1). Если топка попеременно используется для сжигания, например, кускового торфа или древесной щепы, то применение рециркуляции дымовых газов при использовании торфа оказывает положительное воздействие, помогающее избежать перегрева решетки и плавления золы.

#### 4.1.3. Потери теплоты при горении и коэффициент полезного действия

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

зующихся из влаги топлива и при горении водорода топлива, в потерях [54].

Различают следующие потери теплоты при горении:

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

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

Коэффициент полезного действия при горении определяется на основе, так называемого, метода обратного теплового баланса:

к.п.д. = 100 – суммарные потери,

где суммарные потери и к.п.д. выражены в процентах.

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

#### 4.1.4. Факторы, характеризующие эффективность процесса горения

На практике потери теплоты при горении определяются на основе газового анализа дымовых газов, применяя современные измерительные устройства, выводящие результат измерений в цифровом виде, причем в данных результатах может отражаться, также, процент общих потерь.

В ходе анализа дымовых газов напрямую измеряются температура дымовых газов, содержание CO<sub>2</sub> или O<sub>2</sub> и содержание CO, на основе которых основная часть потерь теплоты может быть легко рассчитана, и измерением которых на практике, в основном, и ограничиваются.

Наибольшими потерями теплоты обычно являются потери с физической теплотой уходящих газов, которые зависят, кроме температуры, от коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ . Коэффициент избытка воздуха определяется как соотношение между действительным количеством воздуха, поданным на горение, и количеством воздуха, теоретически необходимым для полного сгорания, и является одним из важнейших параметров, характеризующих процесс горения.

Коэффициент избытка воздуха определяется на основе анализа дымовых газов по следующему упрощенному соотношению:

$$\alpha = \text{CO}_{2,\text{max}} / \text{CO}_{2, \text{измеренное}},$$

где CO<sub>2,max</sub> – максимально возможное содержание углекислого газа для данного топлива, значение которого зависит от вида топлива и может быть найдено для некоторых видов топлив по таблице (см. Таблица 4.1).



Таблица 4.1. Значения  $CO_{2,max}$  для некоторых видов топлив

Топливо	$CO_{2,max}$ , %
Каменный уголь	18,8
Жидкие топлива	15,9
Древесина	20,2
Торф	19,6
Природный газ	12,1

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

$$CO_{2,измеренное} = CO_{2,max} \cdot (1 - O_2/20,94)$$

Оптимальное значение коэффициента избытка воздуха сильно зависит как от технологии сжигания, так и от вида топлива, однако для полного сгорания всегда должно быть  $\geq 1$ . При сжигании древесины и торфа относительно сложно обеспечить достаточно однородное распределение воздуха во всей зоне горения, поэтому в этом случае для достижения полного сгорания значения коэффициента избытка воздуха часто составляют 1,4 и выше. В то же время, при сжигании жидкого топлива или газа оптимальные значения коэффициента избытка воздуха, как правило, находятся в пределах 1,02 – 1,1.

Потери теплоты от химической неполноты сгорания могут быть определены с большой точностью по содержанию CO в дымовых газах. Высокое содержание CO (начиная с 0,5%) указывает также на возможное содержание в дымовых газах несгоревших частичек углерода, которое легко определяется по темному цвету дыма. Хотя ограничение по уровню содержания CO рассматривается здесь только в зависимости от потерь, многие страны вводят также ограничения на выброс CO, обуславливая их требовани-

ями охраны природы и здоровья (см. п. 6.2).

## 4.2. Технологии сжигания

Так как свойства биотоплива и торфа варьируются в очень широких пределах, то применяются различные способы сжигания данного твердого топлива:

- пылевидное сжигание – используется редко, например, при совместном сжигании древесных пылевидных отходов и жидкого топлива;
- слоевое сжигание – этому классу принадлежат различные конструктивные решения решеток, которые обычно подразделяют на две основные группы: неподвижная решетка и механизированная (подвижная);
- сжигание в кипящем слое – используется как так называемый пузырьковый, так и циркулирующий кипящий слой;
- газификация топлива, с последующим сжиганием образовавшихся горючих газов в газомазутных котлах.

Для каждой технологии сжигания со временем сформировался такой диапазон мощностей, при котором применение данной технологии технически или экономически является наиболее целесообразным. В условиях Финляндии, как правило, котлы с мощностью до 5 МВт выполняются со слоевой топкой, при большей мощности предпочтение отдается топкам с кипящим слоем [55] (см. Таблица 4.2).

В отличие от Финляндии и других скандинавских стран, технологии сжигания в кипящем слое торфа и древесного топлива в странах Балтии, а также в Польше и России к настоящему времени особой популярности не снискали, тем не менее одиночные позитивные примеры использования данной технологии для таких топлив имеются, и можно ожидать изменения ситуации в будущем.

Таблица 4.2. Характерные мощности котлов при различных способах сжигания в Финляндии [55]

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

Таблица 4.3. Классификация котлов в зависимости от области их применения [55]

Область применения котлов	Характерные мощности
Частные дома	15 – 40 кВт
Большие здания	40 – 400 кВт
Котлы центрального отопления	0,4 – 20 МВт
Промышленные котлы	1 – 80 МВт
Котлы для сжигания бытовых отходов	10 – 30 МВт

В каждой области применения котлов, работающих на биотопливе и торфе, со временем сформировались характерные мощности (см. Таблица 4.3) и сложились предпочтительные техно-

логические решения, соответствующие специфике области, с соответствующим уровнем автоматизации.

#### 4.2.1. Слоевые топки

В области малых и средних мощностей наиболее распространенным технологическим решением является сжигание в слоевых топках. Исторически, слоевые топки подразделяли на топки с ручным и автоматизированным режимом подачи топлива. В настоящее время доля топок с ручным управлением сильно уменьшилась и даже на котлах частных домов при соответствующем топливе все больше используется автоматизированная подача топлива. При этом удаление золы, ввиду малой зольности древесного топлива, может осуществляться вручную, даже на котлах с относительно большой мощностью.

В настоящем справочнике основное внимание уделяется котлам центрального отопления, кроме того рассматриваются котлы, предусмотренные для отопления одиночных зданий или так называемые локальные отопительные котлы.

Существует множество различных типов решеток, которые могут быть классифицированы следующим образом:

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

Более детальное рассмотрение топок со специализированными решетками в данном Справочнике не проводится. Для эффективного сжигания отходов требуется применение сложной технологии как с точки зрения техники сжигания, так и уменьшения вредных выбросов. Выбор технологии и ввод в эксплуатацию оборудования должен осуществляться под надзором или руководством соответствующих специалистов.

#### 4.2.1.1. Топки с неподвижной решеткой

В основном, неподвижная решетка устанавливается в топке под таким углом, который обеспечивает движение топлива вдоль решетки вниз с зоны подсушки до зоны горения углерода (кокса). Угол наклона неподвижной решетки примерно равен углу естественного откоса используемого топлива. В зависимости от топлива и конструкции элементов решетки рекомендуются следующие углы наклона решеток [56]:

- колосниковая наклонная решетка для сжигания воздушно-сухого кускового торфа, опилок и щепы:  $32^{\circ}$  –  $36^{\circ}$ ;
- решетка, при сжигании опилок:  $38^{\circ}$  –  $40^{\circ}$ ;
- ступенчатая решетка для сжигания кускового торфа:  $30^{\circ}$ .

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

Кроме наклонных решеток с односторонним наклоном, применяются также наклонные решетки, имеющие конусную форму, где топливо подается шнековым питателем снизу, или же за счет силы тяжести – сверху [57].

#### 4.2.1.2. Топки с механической решеткой

По сравнению с неподвижными решетками, решетки с подвижным полотном позволяют за счет движения элементов решетки лучше контролировать продвижение топлива и получать более равномерное распределение слоя топлива на решетке, что в конечном итоге приводит к более эффективному процессу горения и снижению содержания вредных выбросов (особенно CO) в дымовых

газах. Существует комбинированное решение, при котором решетка состоит из двух частей. Верхняя половина представляет из себя неподвижную решетку, охватывающую зоны сушки и пиролиза, нижняя состоит из подвижных элементов, имеет меньший наклон и покрывает зону горения.

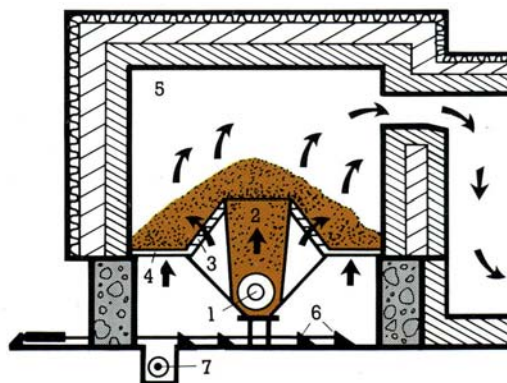


Рис. 4.3. Предтопка с конусной решеткой и нижней подачей топлива для сжигания высоко влажного топлива фирмы SERMET, Финляндия

1 – шнековый питатель; 2 – топливный бункер; 3 – наклонная решетка; 4 – горизонтальная решетка; 5 – топочный объем; 6 – скреповый транспортер золы; 7 – шнековый конвейер удаления золы.

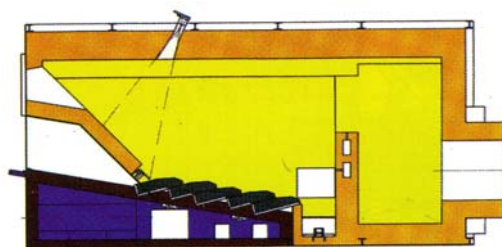


Рис. 4.4. Топка фирмы Hotab (Швеция), решетка которой состоит из неподвижной наклонной решетки и механизированной части

Характерным примером топки с механической решеткой является топка TRF шведской фирмы KMW ENERGI AB, движение элементов решетки которой,

осуществляется в шахматном порядке, что обеспечивает продвижение и равномерную толщину слоя топлива.

Представленная на рис. (см. Рис. 4.5) топка является предтопкой и комплектуется отдельно от котла. Данная предтопка не содержит поверхностей нагрева, обеспечивая, таким образом, возможность сжигания влажного топлива (35 – 55%). Керамические поверхности топки охлаждаются воздухом, подаваемым на горение, что приводит к предварительному его подогреву и одновременно к улучшению условий горения.

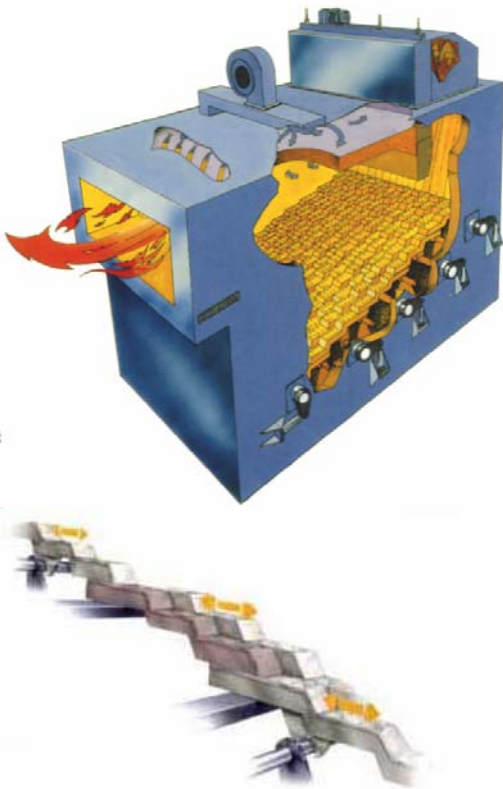


Рис. 4.5. Топка TRF с движущимися в шахматном порядке элементами решетки шведской фирмы KMW ENERGI AB

Для сжигания высоковлажного топлива поверхности топки, как правило, должны быть неохлаждаемыми, и изготавливаются из керамических материалов (см. также Рис. 4.3). Рабочая температура этих поверхностей достаточно высока, чтобы подводимое от них излучением тепло обеспечивало сушку топлива, выделение летучих и создание подходящих условий для горения как на решетке, так и в зоне горения летучих. При кратковременном сжигании сухого топлива в таких неохлаждаемых топках происходит быстрый рост температуры как в слое топлива, так и в топочном объеме. В результате может начаться процесс плавления золы, шлакование зазоров и самой решетки, а также повреждение обмуровки топки или даже ее расплавление.

Запатентованная *Wärtsilä* топка *BioGrate*, имеющая конусную решетку с нижней подачей, позволяет сжигать топлива, имеющие как очень низкую, так и высокую влажность (до 65%) (см. Рис. 4.6).

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

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



Рис. 4.6. Запатентованная Wärtsilä топка BioGrate с конусной решеткой и с нижней подачей топлива

Ключом к высоко эффективному горению, обеспечивающему низкий уровень вредных выбросов, является система регулирования и оптимального распределения воздуха, содержащая дутьевые вентиляторы с регулируемой скоростью

вращения. Кроме того, применяется регулируемая рециркуляция дымовых газов, позволяющая управлять тепловыделением в слое топлива и обеспечивающая полное сжигание с малым уровнем выбросов NOx и CO в широком диапазоне видов топлив.

Наружный диаметр конусной решетки зависит от мощности топки, например, при мощности равной 3,5 МВт диаметр составляет 4,15 м, при 20 МВт – 9,5 м.

Если топки, предназначенные для сжигания биотоплива и торфа, конструктивно выполнены в виде предтопок, то в котельной ее необходимо объединить с подходящим котлом. Многие производители конструируют и поставляют топку и котел как одно целое, особенно при небольших мощностях. В таких установках проще организовать, например, золоудаление из-под решетки, из-под вертикальных дымогарных труб, из-под устройств по очистке дымовых газов (см. Рис. 4.7).

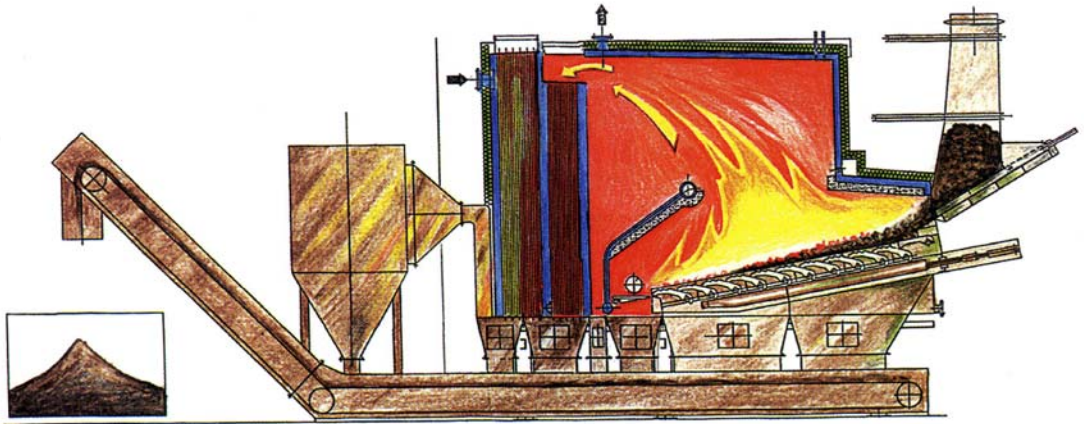


Рис. 4.7. Комплексное котельное оборудование типа РМА мощностью 1 – 10 МВт для сжигания твердого топлива фирмы Putkimaa OY, Финляндия

Если в котле предполагается сжигание сухого топлива, то необходима организация охлаждения стен топki установкой поверхностей нагрева. От условий охлаждения стен топki напрямую зависит какое топливо и с какой влажностью

можно сжигать. При сжигании сухого топлива, например пеллетов, а также отходов столярного производства или мебельной промышленности, температура топочного объема поддерживается в нужных пределах прежде всего за



счет охлаждаемых топочных поверхностей. Кроме того, может возникнуть необходимость в формировании зоны горения летучих таким образом, чтобы полностью исключить излучение факела на слой топлива.

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

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

Дополнительной возможностью регулирования температуры в топке является рециркуляция дымовых газов (см. п. 4.1.2). Данный метод позволяет в определенной степени уменьшить тепловыделение и температуру на решетке при одновременном увеличении тепловыделения в зоне горения летучих.

#### 4.2.1.3. Цепная решетка

Цепные решетки хорошо подходят для сжигания нескольких видов топлив в одной топке при более высоких мощностях установок. Например, производительность каждого из двух паровых котлов с цепными решетками, реконструированных в 1984 г. в г. Бурос (Шве-

ция), в зависимости от вида топлива составила 60 – 90 т/ч. Разрез решетки такого котла приведен на Рис. 4.8. Основным топливом является древесная щепа, однако существует возможность использования торфа или угля.

Варьирование скорости движения полотна цепной решетки позволяет достаточно гибко регулировать перемещение топлива с нужной скоростью, начиная с зоны сушки и до полного выгорания углерода и удаления шлака, не содержащего горючих компонентов. При переходе с одного топлива на другое, например с древесной щепы на уголь, необходимо изменить скорость движения полотна, объемы и соотношение первичного и вторичного воздуха.

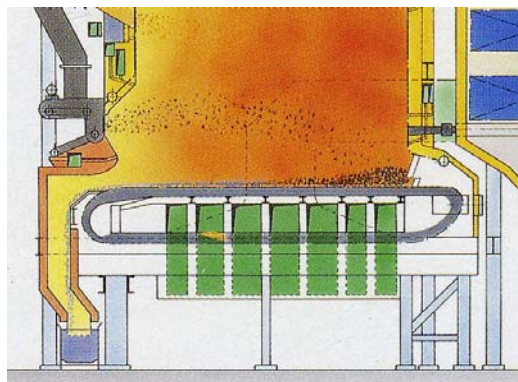


Рис. 4.8. Цепная решетка котла ТЭЦ Бурос, Швеция

Интересна причина использования на ТЭЦ Бурос угля в качестве резервного топлива. Для снабжения древесной щепой двух мощных котлов, в основном работающих на древесной щепе, необходимо за сутки выполнить несколько десятков рейсов по доставке топлива. Плата водителям грузовиков и расходы, идущие непосредственно на транспортировку топлива, по выходным значительно выше аналогичных расходов в рабочие дни. Строительство же большого механизированного склада древесной щепы, вмещающего

запас топлива на несколько выходных подряд, является экономически нецелесообразным. Для оптимизации расходов на транспортировку топлива на время нескольких следующих подряд выходных, например, на время празднования Нового года, Рождественских праздников, или Пасхи котлы переводят на сжигание угля.

#### 4.2.2. Топки с кипящим слоем

Увеличивая постепенно скорость дутья, можно создать условия, при которых слой топлива за счет силы давления газового потока расширяется, частицы топлива при этом начинают парить и интенсивно перемешиваться в воздушном потоке, образуя взвешенный слой. Возникает иллюзия, что слой начинает кипеть, отсюда и название процесса – кипящий слой. Описанный псевдожидкий слой называется пузырьковым или стационарным кипящим слоем. В таком кипящем слое воздушным потоком выводятся влага, летучие, зола и, в незначительной степени, мелкие частички топлива, сгорающие затем вместе с летучими в топочном объеме над кипящим слоем (см. Рис. 4.9).

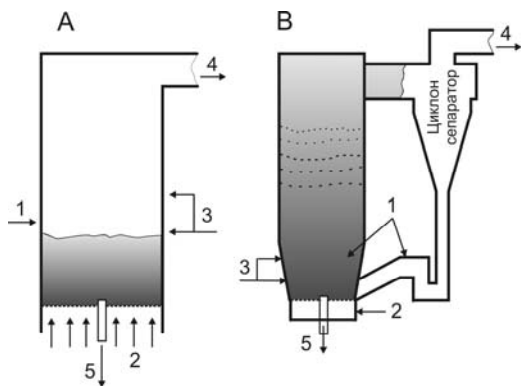


Рис. 4.9. Принципиальные схемы топок с пузырьковым (А) и циркулирующим (В) кипящим слоем

1 – топливо; 2 – первичный воздух; 3 – вторичный воздух; 4 – дымовые газы; 5 – вывод золы.

При еще большей, по сравнению с пузырьковым кипящим слоем, интенсивности дутья горячие частицы топлива уносятся воздушным потоком. В циклонном сепараторе твердая фаза отделяется от газового потока и направляется обратно в топку. Поскольку горящее топливо циркулирует между топкой и сепаратором, то такой технологический процесс получил название циркулирующего кипящего слоя.

Технологические решения в виде как пузырькового, так и циркулирующего кипящего слоя хорошо подходят для сжигания биотоплива, торфа и отходов, в то время как для сжигания угля и сланца больше подходит циркулирующий кипящий слой.

Одной из причин широкого распространения технологии кипящего слоя является возможность снижения выбросов вредных веществ в атмосферу и сжигания различных низкокачественных топлив в одной и той же топке. Температура в кипящем слое сравнительно низкая, порядка 850°C, вследствие чего отсутствует опасность плавления золы и шлакования топки. При таком уровне температур снижаются также выбросы NOx и N<sub>2</sub>O, а при использовании топлива с высоким содержанием серы при добавлении сорбента (известняка) возможно ее связывание с золой.

Общее требование, предъявляемое к топливу при сжигании в кипящем слое, – достаточно однородный гранулометрический состав кусков. При сжигании биотоплива и торфа пузырьковый кипящий слой формируется из инертного материала. Как правило, это кварцевый песок, который во время запуска топки до подачи основного топлива подогревается с помощью газовых или мазутных горелок до температуры примерно 600°C. Затем зажигается подающееся в слой основное топливо, температура слоя увеличивается и использовавшиеся для зажигания вспомогательные горелки отключаются.

Существует несколько способов подачи топлива в пузырьковый кипящий слой:

- подача топлива через вертикальную трубу сверху кипящего слоя, причем дополнительно иногда применяется механическая загрузка топлива по всему сечению топки;
- подача топлива в кипящий слой через горизонтальный канал с помощью пневмотранспорта или шнекового транспортера.

В отличие от топок с решетками, работа которых при малых нагрузках затруднена, топка с пузырьковым кипящим слоем, содержащим буфер из песка, может работать эффективно в очень широком диапазоне нагрузок, и благодаря аккумулярованному слою инертного материала теплу, кратковременно даже без подачи топлива.

В качестве одного из примеров практической реализации технологии кипящего слоя можно привести котел финской фирмы *Putkimaа OY*, в котором топка и дымогарный котел, имеющий вертикальное расположение дымогарных труб, составляют одно целое (см. Рис. 4.10). Такая компактная конструкция позволяет строить котлы даже с нехарактерно малой мощностью, начиная с 1 МВт.

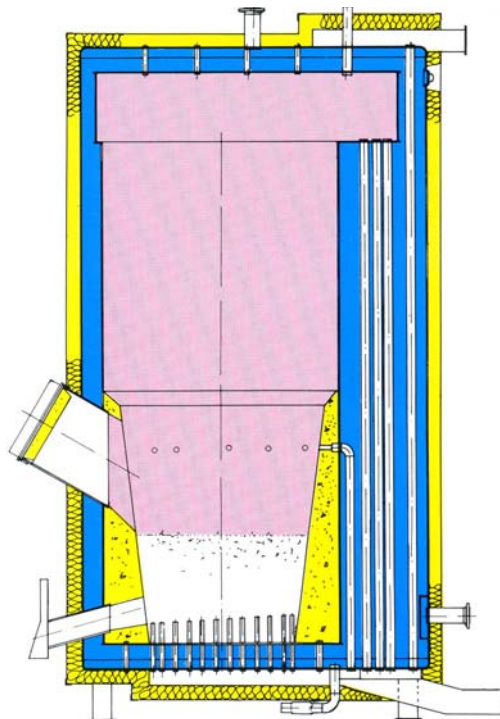


Рис. 4.10. Котел с кипящим слоем и дымогарными трубами типа PML фирмы Putkimaа OY, Финляндия

#### 4.2.3. Газификация топлива

Принципы газификации биомассы были известны уже с конца XVIII века [58], поначалу данная технология применялась для снабжения газом газовых фонарей. Во время Второй мировой войны устройства по газификации биомассы использовались для получения заменителя моторного топлива. Во время энергетического кризиса семидесятых и восьмидесятых годов XX столетия газификация биомассы также рассматривалась как альтернатива подорожавшему топливу, получаемому из нефтепродуктов. Кроме того появились газификационные установки, применявшиеся для производства энергии.

Газификация топлив с низкими теплотой сгорания и качеством, использовалась, в основном, по трем причинам [59]:



- с целью использования низкокачественного топлива в промышленности, особенно в химической;
- для производства “чистого” топлива;
- при переводе существующего котла на проблемное топливо.

Практическое использование газификации в котельных центрального отопления началось сравнительно недавно, например в Финляндии – с 1982 года. Установки по газификации биомассы к настоящему времени не нашли широкого распространения ввиду высокой их стоимости. Вероятно, наиболее перспективной областью применения газификационных реакторов, по мнению многих экспертов, является газификация биотоплива с целью получения топлива для совместного производства электричества и тепла на базе двигателей внутреннего сгорания [60].

В реактор газификации биомассы с неподвижным слоем топлива подается сверху, при этом образовавшиеся газы движутся в противоположном направлении (так называемая противоточная схема), или в том же направлении, что и топливо (так называемая прямоточная схема, см. Рис. 4.11).

При противоточной схеме газы содержат как образовавшиеся в результате пиролиза смолу и сажу, так и золу. Данная технология позволяет газифицировать топлива низкого качества, например, с высокой влажностью и зольностью [60]. Получаемые газы пригодны для сжигания, однако возникает необходимость в периодической (раз в неделю) очистке газовых каналов. После очистки от нежелательных компонентов и охлаждения газ можно использовать как топливо для двигателей внутреннего сгорания.

В прямоточном газификационном реакторе выходящие горячие газы не содержат смол, однако требуется их очистка

от сажи и золы. Вместе с тем данный способ газификации предполагает использование сравнительно сухого и малозольного топлива.

Мощность газификационных установок с неподвижным слоем топлива в большинстве своем выше 1 МВт (по топливу<sup>10</sup>) и достигает 10 МВт (прямоточная схема) или 20 МВт (противоточная схема). В случае очень больших мощностей применяется технология газификации в кипящем слое (примерно 7 – 100 МВт).

На Рис. 4.12 представлена схема газификационного реактора *Novel* финской фирмы *Condens OY*. Мощность реактора 1 – 10 МВт, размер используемых кусков древесной щепы, опилок, коры или отходов 0 – 50 мм, влажность топлива 0 – 60% [61].

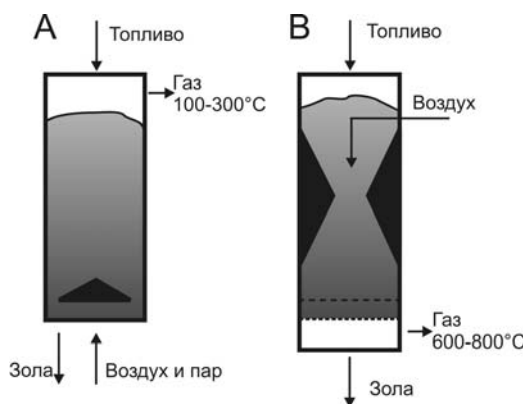


Рис. 4.11. Принципиальные схемы газификационных реакторов: противоточная (А) и прямоточная (В)

<sup>10</sup> Мощность газификационных реакторов определяется на основе энергосодержания подаваемого в реактор топлива

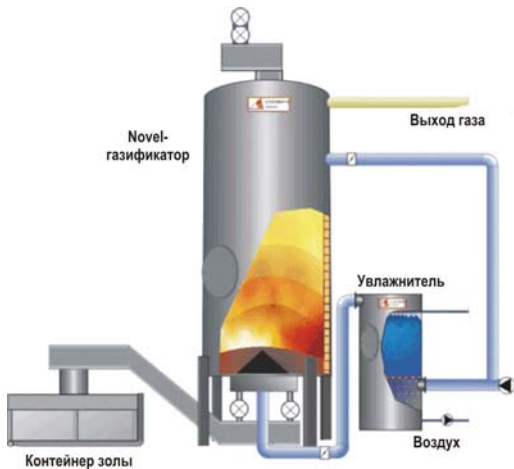


Рис. 4.12. Газификационный реактор Novel мощностью 1 – 10 МВт фирмы Condens OY, Финляндия

#### 4.2.4. Сжигание соломы

Для сжигания соломы как правило требуются котлы, имеющие специальную конструкцию, учитывающую особенности данного вида топлива. Далее излагается датский опыт по использованию соломы в качестве топлива [50].

Поскольку солома – продукт зерноводства, то в виде топлива ее целесообразно использовать, в первую очередь, для теплоснабжения в этой же отрасли. Одной из простейших возможностей является сжигание целых тюков соломы (с использованием соответствующих установок, см. Рис. 4.13). Сжигающая установка может работать циклически: сперва тюк соломы с помощью фронтального подъемника загружается через открытую топочную дверцу в топку, затем дверца закрывается и топливо зажигается. Воздух для горения подается сверху.

Вследствие цикличности процесса сжигания, дозирование необходимого количества воздуха, а также достижение высокоэффективного горения, является весьма сложной задачей.

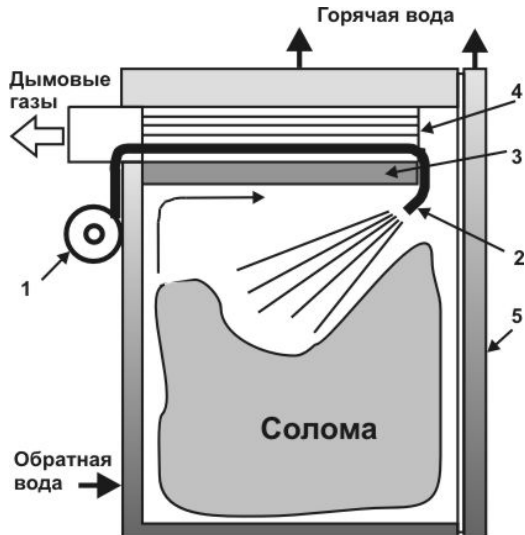


Рис. 4.13. Принципиальная схема топки для сжигания целых тюков соломы

1 – дутьевой вентилятор, 2 – воздух на горение, 3 – керамическая панель, 4 – дымогарные трубы, 5 – водяная рубашка

Если же перед подачей тюков соломы в топку ее измельчить, то возможна организация автоматизированной подачи топлива в топку, упрощающая, тем самым, наладку режима горения (см. Рис. 4.14). Кроме Дании такие котлы успешно внедрены в Латвии и Литве.

Эффективность котлов, сжигающих тюки соломы, зависит, кроме применяемой технологии, также от нагрузки и номинальной мощности установки. Например, к.п.д. вышеописанного котла, сжигающего солому в циклическом режиме горения, примерно на 10% ниже к.п.д. котла, имеющего автоматизированную подачу раздробленной соломы, причем в обоих случаях к.п.д. растет при увеличении нагрузки.

Возможна также организация непрерывной последовательной подачи цельных тюков соломы в топку без предварительного измельчения. Принципиальная схема метода, так называемого “сигарного” типа, представлена на Рис. 4.15.

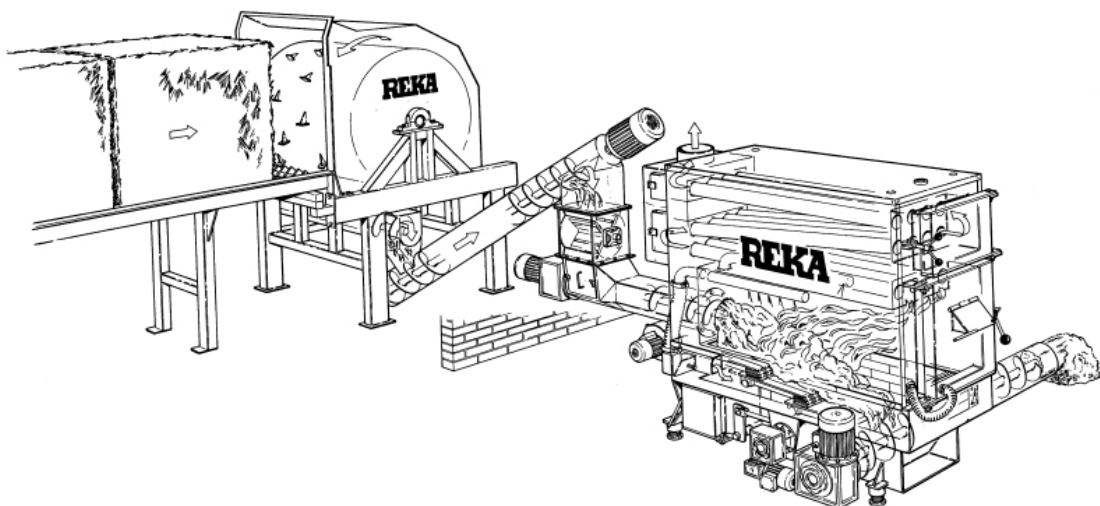


Рис. 4.14. Автоматизированная система сжигания соломы с предварительным измельчением тюков [50]

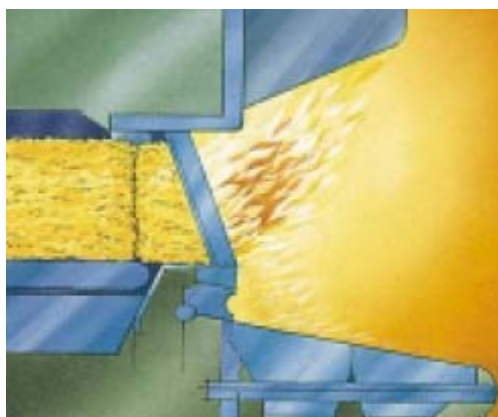


Рис. 4.15. Метод сжигания «сигарного» типа с непрерывной последовательной подачей цельных тюков соломы [50]

#### 4.2.5. Пеллеты и горелки для твердого топлива

Пеллеты являются высококачественным гомогенным топливом, транспортировка, складирование, подача и даже сжигание которого почти так же удобны и легко поддаются автоматизации, как и соответствующие операции при использовании легкого жидкого топлива. Схема сжигания пеллет состоит из следую-

щих основных компонентов (см. Рис. 4.16):

- склада топлива или бункера;
- конвейера подачи топлива со склада в горелку;
- горелки для сжигания пеллет;
- котла.

Подача топлива со склада к котлу может быть осуществлена достаточно просто с помощью шнекового транспортера, после которого топливо за счет силы тяжести падает на шнековый питатель горелки. Выделение летучих из пеллет обычно происходит в устье горелки, а их горение – в топочном объеме.

Одной из возможностей сжигания пеллет является использование специально сконструированных для этих целей котлов, где котел и горелка составляют одно целое. Другой возможностью является установка горелки для пеллет на место газомазутной. Возможен также монтаж горелки через один из люков обслуживания.

Древесные пеллеты являются сухим высокорекреационным топливом, процесс зажигания которого, ввиду высокого

содержания летучих, происходит достаточно легко, и который может быть легко автоматизирован. Данное обстоятельство является достаточно убедительным подтверждением того, что переход на сжигание пеллетов с жидкого топлива

практически не приводит к потере комфортности эксплуатации. Однако, время от времени, необходимо производить удаление золы, хотя данная операция может выполняться не чаще, чем раз в одну или две недели.

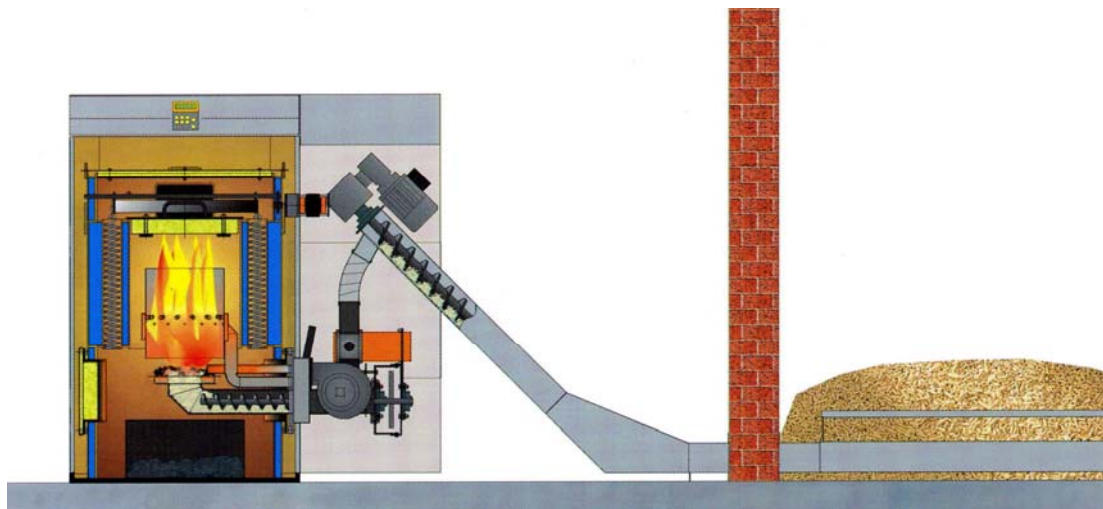


Рис. 4.16. Технологическая схема системы сжигания пеллетов [62]

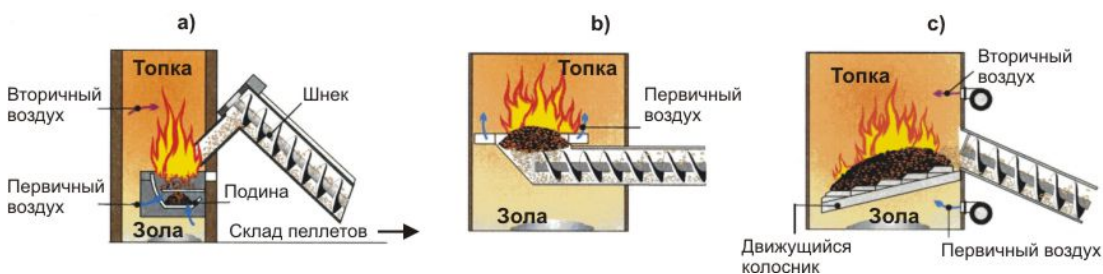


Рис. 4.17. Технологические решения питания и сжигания пеллетов

Горелки для твердого топлива, кроме сжигания в них пеллетов, испытывались также на сжигание других топлив, например, древесной щепы и кускового торфа. Используемое в таких горелках топливо, как правило, должно быть однородным и желателен сухим.

Проектными топливами являются кусковой торф и древесная щепа. Рекомендуемая максимальная влажность топлива составляет 35 %, в то время как при сжигании топлива с большей влажностью наблюдается заметное падение мощности (особенно это выражено в случае использования кускового торфа), горение становится нестабильным и резко увеличиваются потери.

В Таллинском техническом университете разработана и подготовлена к производству горелка, имеющая две модификации (см. Рис. 4.19), одна из которых предназначена для сжигания сухого топлива, другая – влажного.

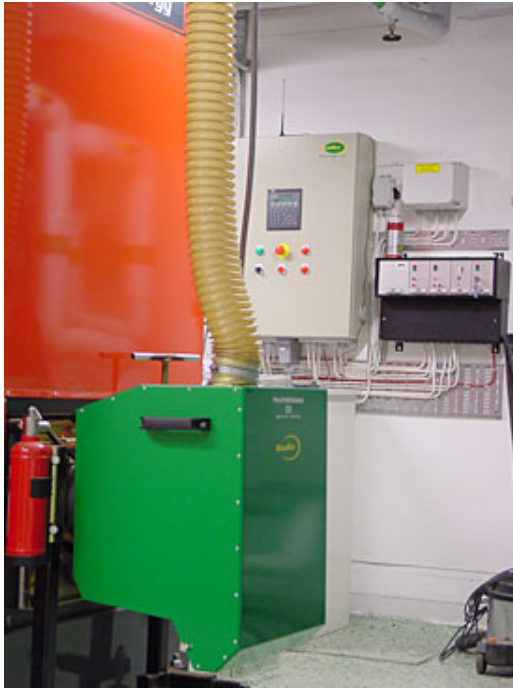


Рис. 4.18. Горелка для пеллетов EcoTec 300 кВт, Швеция

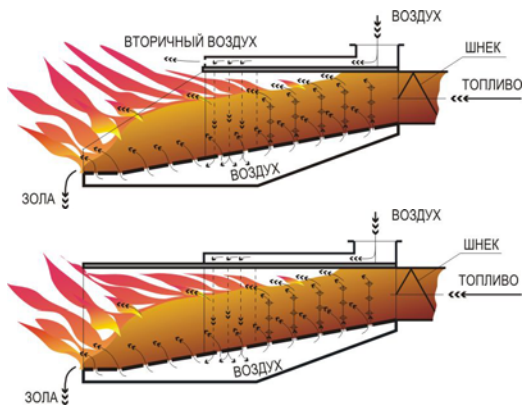


Рис. 4.19. Схемы горелок для твердого сухого (верхний рисунок) и влажного (нижний) топлива, разработанные в Таллинском техническом университете



Рис. 4.20. Горелка для твердого топлива, разработанная в Таллинском техническом университете, с универсальным котлом мощностью 240 кВт

#### 4.2.6. Реконструкция котлов на сжигание других топлив

В приведенном выше материале основное внимание уделялось топочным процессам и меньше котлу, т.е. поверхностям нагрева, через которые тепло, выделившееся в результате горения, передается воде. В новых установках, сжигающих биомассу, топка образует с поверхностями нагрева единое гармоничное целое. Исходя из техники сжигания и уровня выбросов, такое комплексное решение по сравнению с частичной или полной реконструкцией существующего оборудования, является, как правило, более предпочтительным.

При переходе на использование биотоплива или торфа у котельных, работавших ранее на ископаемом топливе, существует несколько альтернативных возможностей:

- перевод угольного котла на сжигание биотоплива или торфа;
- строительство предтопки к существующему котлу, использующему ископаемое топливо;
- сооружение в существующем котле слоевой топки или топки с кипящим слоем;



- замена газомазутной горелки горелкой для твердого топлива;
- монтаж нового специализированного котла на место старого или на свободное место в котельной.

Перевод угольного котла на сжигание биотоплива и торфа, то есть на топливо с более высоким содержанием летучих и низкой теплотой сгорания, обычно не приводит к удовлетворительному результату, и такое решение может быть принято только на короткий период при возникновении особой необходимости.

Полная замена старого котла новым исходя из техники сжигания равносильна строительству новой котельной, хотя может оказаться дешевле, поскольку могут быть использованы существующие как само здание, так и системы трубопроводов и электроснабжения. При этом приспособление склада и топливоподачи существующей котельной сложнее, чем сооружение новой котельной.

Так как мощность горелок для твердого топлива, как правило, не превышает нескольких сот киловатт, то такое решение по реконструкции применимо только для локальных котлов, котлов центрального отопления малой мощности (см. п. 4.2.4), а также для котлов в домах на одну семью.

Строительство предтопки к существующему котлу возможно почти для каждого типа котла, но следует учитывать необходимость очистки поверхностей нагрева котла от летучей золы. Последнее обстоятельство следует особенно иметь в виду при установке предтопок на дымогарно - жаротрубные котлы, так как предтопка может перекрыть доступ к горизонтальным дымогарным трубам и тем самым воспрепятствовать их периодической очистке.

При сжигании биотоплива и торфа дымовые газы неизбежно содержат летучую золу, приводящую к образованию отложений. Для уменьшения загрязнений поверхностей нагрева, а также

для упрощения их очистки, более рациональна схема с вертикальным размещением дымогарных труб.

#### **4.2.7. Малые котлы**

Разделение котлов по их мощности является, в общем случае, условным. В Справочнике под малыми котлами понимают котлы, находящие применение прежде всего для отопления частных домов (см. также Таблица 4.3). Тем не менее, характерные технологические решения, присущие малым котлам, могут подходить для установок с относительно широким диапазоном мощности.

Основное внимание уделено установкам, использующим в качестве топлива поленья и улучшенное древесное топливо. Малые котлы ориентированы, как правило, на сжигание улучшенного и высококачественного топлива.

##### **4.2.7.1. Котлы с верхним горением**

Большинство старых котлов, используемых для отопления индивидуальных домов, это так называемые котлы с верхним горением, которые были спроектированы для сжигания антрацита и кокса, т.е. низкорекреационного топлива. Такие топлива можно сжигать на решетке в толстом слое, где они, раскаляясь, горят практически без пламени. Большая часть выделившегося тепла передается излучением топочным поверхностям. Доля вторичного воздуха мала. Также нет необходимости, в использовании больших хвостовых поверхностей нагрева, поскольку основная часть выделившегося тепла передается в топочной камере.

При сжигании высокорекреационных топлив (поленья, древесные или торфяные брикеты, кусковой торф) в топке с верхним горением над слоем топлива оставляют пространство, достаточное для горения летучих, в этот же объем подается вторичный воздух (см. Рис. 4.21). Основная часть тепловыделения происходит в верхней части топки - в факеле. Ввиду того, что уходящие то-

почные газы обладают большим тепло-содержанием, площадь хвостовых поверхностей нагрева должна быть больше, чем при сжигании низкорреакционных топлив (каменный уголь).

Основным недостатком топки с верхним горением, предназначенной для сжигания поленьев, является необходимость в частом добавлении топлива. Все топливо, находящееся в топке, располагается в зоне горения, и регулировка количества первичного воздуха оказывает слабое влияние на интенсивность горения. Регулировка как первичного, так и вторичного воздуха является весьма неточной, поэтому получение высокоэффективного горения представляется затруднительным. Во избежание частого добавления поленьев котел обычно выбирается по максимальной необходимой отопительной мощности и подключается к аккумуляторному баку.

#### 4.2.7.2. Котлы с нижним горением

Котел с нижним горением (см. Рис. 4.22) позволяет достичь более длительный цикл горения, поскольку на решетку из вместительного топливного бункера непрерывно поступает свежее топливо. В процессе горения участвует только часть загруженного в топливный бункер топлива.

Сползающее вниз бункера топливо подсушивается и разогревается. Ближе к решетке происходит газификация топлива (выделение летучих), на самой решетке - горение образовавшегося кокса. Для последующего сжигания летучих в объеме, находящимся рядом с топливной шахтой, создаются условия, необходимые для их воспламенения и горения. Для этого сюда необходимо подать дополнительный (вторичный) воздух и обеспечить поддержание высокой температуры. Последнее требование можно выполнить покрытием одной или нескольких стен камеры дожигания керамическими поясами.

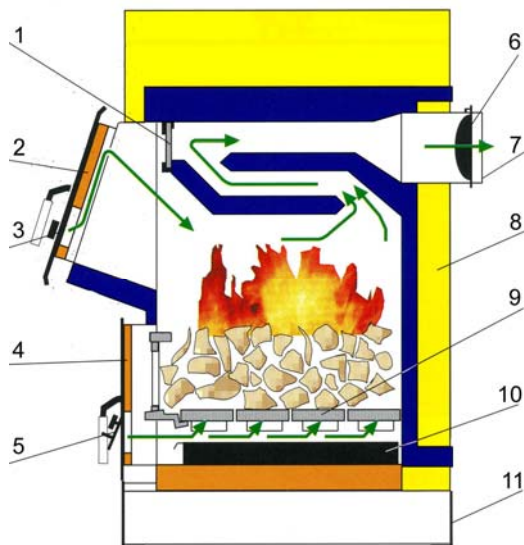


Рис. 4.21. Котел с верхним горением австрийской фирмы Eder

1 – съемный экран; 2 – загрузочный люк; 3 – клапан вторичного воздуха; 4 – люк золоудаления; 5 – клапан первичного воздуха; 6 – поворотный шибер; 7 – газоход; 8 – изоляция; 9 – решетка; 10 – золовой поддон; 11 – основание.

Рабочий цикл котла с нижним горением может быть достаточно продолжительным, зачастую от 5 до 8 часов. При работе на поленьях или древесных брикетах топливо в шахте выгорает быстрее, чем при использовании брикетов из торфа или кускового торфа. Загрузка топлива в котел с нижним горением выполняется значительно реже, чем для котла с верхним горением, но при этом требуются более сухие и однородные по размеру, древесные поленья или брикеты.

Интенсивность горения можно регулировать с помощью клапана первичного воздуха вручную или автоматически, путем использования регулятора воздуха. Автоматическое регулирование подачи воздуха под решетку осуществляется так, чтобы температура воды в котле поддерживалась на заданном уровне.

### 4.2.7.3. Котлы с обратным горением

Дальнейшим развитием котла с нижним горением стал так называемый котел с обратным горением (см. Рис. 4.23 и Рис. 4.24), в котором используется стабилизирующая горение решетка, изготавливаемая, обыкновенно, из керамики или металлокерамических материалов.

Жаропрочная решетка, имеющая высокую рабочую температуру, при изменяющейся нагрузке котла гарантирует наилучшие условия горения и обеспечивает высокую эффективность котла и низкое содержание вредных веществ в уходящих дымовых газах.

Такой решетке предъявляются крайне высокие требования – кроме жаропрочности она должна обладать ударной стойкостью в течении всего срока службы котла, так как при заполнении топливной шахты неизбежно может произойти падение топлива на решетку. Естественно, что такая решетка имеет высокую стоимость.

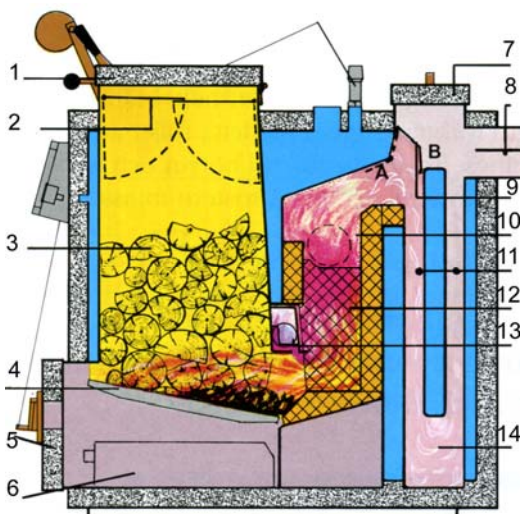


Рис. 4.22. Котел с нижним горением Arimax, HÖGFORS LÄMPÖ OY, Финляндия

1 – загрузочный люк; 2 – экраны; 3 – топливный бункер; 4 – решетка; 5 – нижний люк обслуживания с клапаном регулирования первичного воздуха; 6 – золовой ящик; 7 – люк для очистки; 8 – поворотный шибер; 9 – шибер для облегчения зажигания; 10 – камера дожигания; 11 – дымогарные каналы; 12 – керамический пояс; 13 – вторичный воздух; 14 – место расположения люка очистки котла.

Эффективность горения (к.п.д.) котла с нижним горением сильно зависит от соотношения первичного и вторичного воздуха, однако поддержание правильного соотношения является весьма трудной задачей. Для того, чтобы эффективность котла была постоянно высокой, котел к системе рекомендуется подключать через аккумуляторный бак. Это позволит избежать работы котла при низких нагрузках, приводящих к режимам с низким к.п.д. и к увеличению содержания угарного газа в дымовых газах до нежелательно высокого уровня.

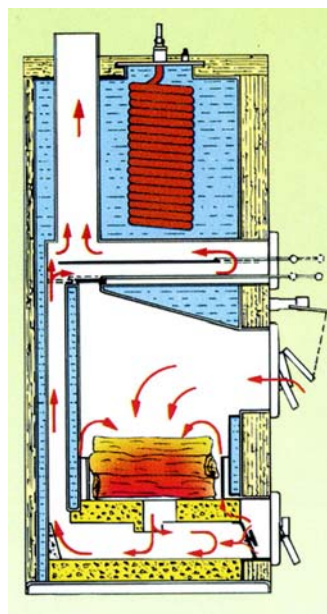


Рис. 4.23. Котел с обратным горением EXONOM A25 VX MILJÖ фирмы EURONOM, Швеция



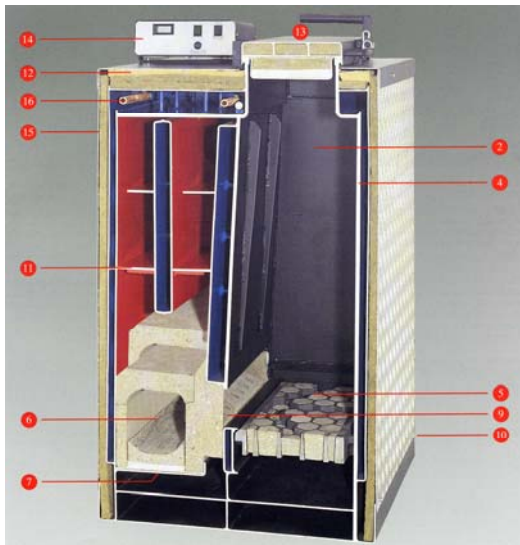


Рис. 4.24. Котел с обратным горением DRAGON фирмы GRIM GmbH, Австрия

В котле DRAGON (см. Рис. 4.24) возможно использование различных топлив, при работе на дровах его загрузка производится через люк 1, в то время как древесная щепка подается через люк 13. В зависимости от модели котла ширина топливной шахты позволяет использовать поленья длиной 0,5 или 1 м, мощность таких котлов находится в пределах 15 – 70 кВт.

#### 4.2.7.4. Двойные и универсальные котлы

Универсальности котла, работающего на древесном топливе, можно достичь несколькими способами. Наиболее простой возможностью является установка в водяном объеме котла электронагревателей, которые автоматически включаются в работу при снижении температуры котловой воды ниже установленного минимума. Поскольку электрические нагреватели, а также управляющая ими автоматика, имеют относительно низкую стоимость, то такую возможность можно предусмо-

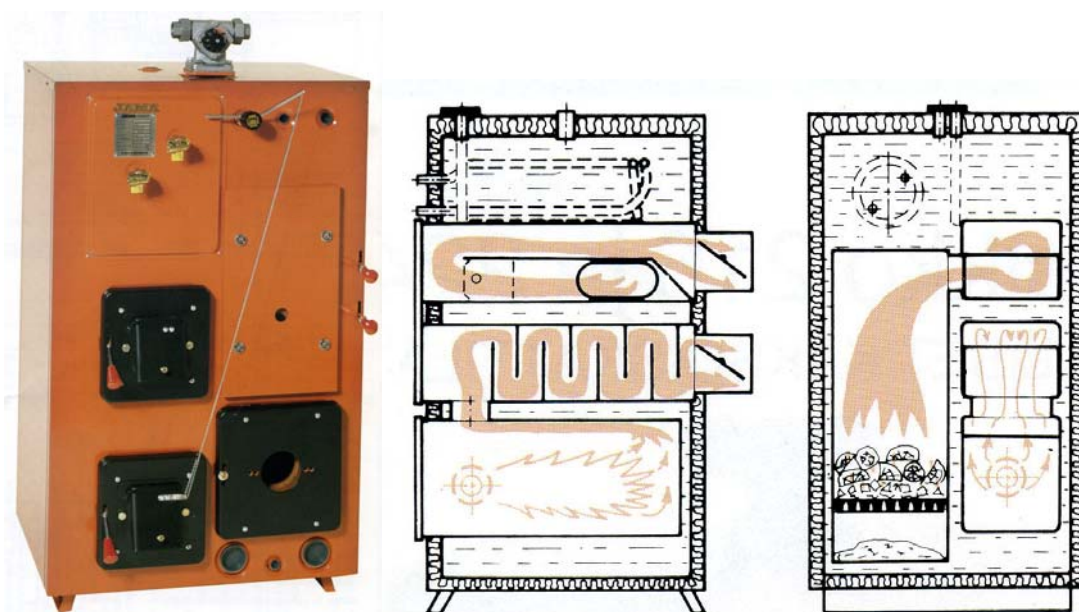


1, 3, 8, 13 – топливозагрузочные и обслуживающие люки; 2 – расширяющаяся вниз топливная шахта; 4 – охлаждаемая стена шахты; 5 – керамическая решетка; 6 – керамическая камера дожигания; 7 – система регулирования и распределения воздуха, идущего на горение, располагающаяся под камерой дожигания; 9 – ходы для горючих газов; 10 – клапан регулирования температуры дымовых газов; 11 – направляющие дымовых газов; 12 – изоляция; 14 – панель управления; 15, 17 – наружная стена; 16 – теплообменник.

треть на стадии конструирования каждого малого котла.

Другой возможностью является использование сменных топочных дверец. Дверцу или люк для обслуживания котла с верхним или нижним горением заменяют фланцем, на котором может быть установлена горелка для жидкого топлива. В этом случае котел, работающий на древесном топливе, достаточно просто может быть переоборудован на сжигание жидкого топлива и наоборот.

Возможны также такие технические решения, когда горелка для жидкого топлива не демонтируется с котла на древесном топливе и автоматически включается в работу при полном выгорании поленьев в топке и снижении температуры воды. В некоторых вариантах в одном котле конструируются топки с полностью разделенными камерами горения и дымогарными каналами. Такие котлы называются двойными, пример конструкции приведен на Рис. 4.25.



*Рис. 4.25. Двойной котел Jätä Kaksikko фирмы JÄMÄTEK ку, Финляндия*

*Вид и разрезы – слева фронт котла, в середине – разрез части котла, работающего на жидком топливе и справа – разрез части котла, работающего на твердом топливе по принципу верхнего горения.*

#### **4.2.7.5. Котлы для сжигания пеллетов**

Для отопления частных домов в качестве топлива особенно хорошо подходят пеллеты, которые могут быть также использованы в каминах. Описанные ранее способы сжигания пеллетов (см. п. 4.2.4) с одинаковым успехом могут быть применимы как для котлов частных домов, так и для более крупных.

На Рис. 4.27 и Рис. 4.28 приведен получивший широкое распространение способ использования горелки для пеллетов на малом котле. Поскольку горелку для пеллетов можно приспособить (см. Рис. 4.26) и на котел для сжигания жидкого топлива, то отпадает необходимость в замене котла при переходе с жидкого топлива на пеллеты. Потребуется только подгонка горелки для пеллетов на место горелки, использующей жидкое топливо.



Рис. 4.26. Горелка для пеллетов Iwabo Villa S



Рис. 4.27. Малый котел Malle (20 кВт) с горелкой для пеллетов и системой подачи пеллетов

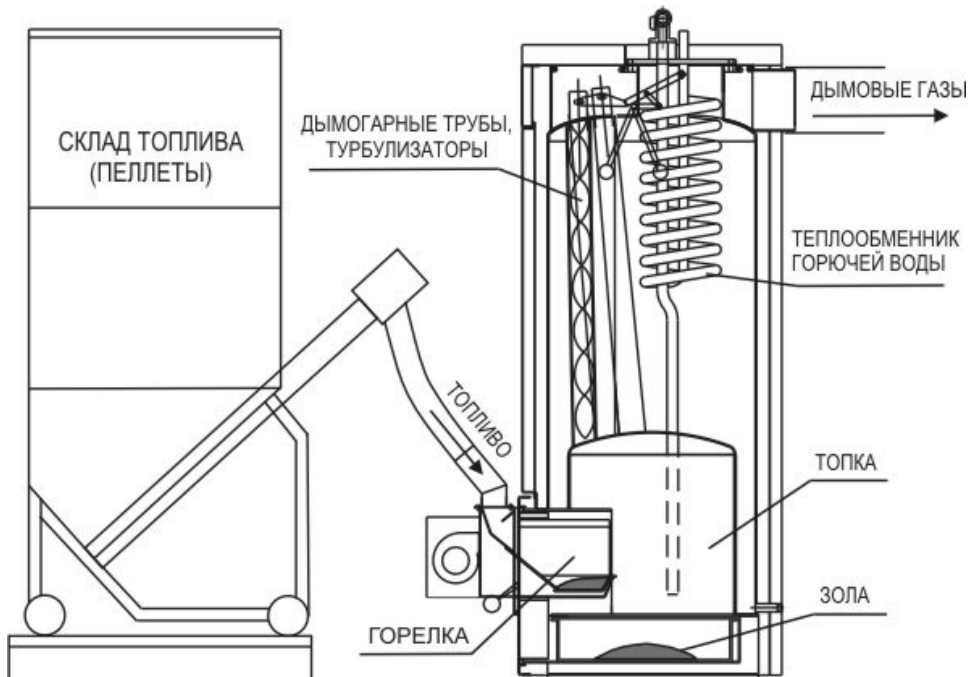


Рис. 4.28. Малый котел Pelle, разработанный в Таллинском техническом университете, с бункером пеллетов, питательным оборудованием и горелкой для пеллетов Iwabo Villa



## 5. СКЛАДИРОВАНИЕ ТОПЛИВА И КОНВЕЙЕРЫ

### 5.1. Общие требования складирования твердого биотоплива с различными свойствами

В настоящей главе рассматриваются, в основном, такие склады и конвейеры, в которых предполагается использование древесной щепы, соломы зерновых, фрезерного и кускового торфа, а также пригодных для сжигания биоотходов (бытовых отходов). Меньше внимания уделяется складированию поленьев и древесных пеллетов, поскольку эти топлива применяются, в основном, в менее мощных локальных отопительных установках (менее 300 кВт). Пеллеты характеризуются как топливо с равномерным (гомогенным) гранулометрическим составом, и по оборудованию для их хранения и транспортировки можно получить представление также по схемам, приведенным в других частях Справочника (см. Рис. 4.16).

В некоторых странах (например в Швеции) пеллеты широко используются также на установках большой мощности, однако в большинстве случаев топливо предварительно, до подачи в топку с пылевидным сжиганием, перемалывается, и топливоподготовка в таком случае не имеет существенных отличий от подготовки фоссильных топлив.

Типичная котельная, работающая на биотопливе, конструируется таким образом, чтобы котел размещался в центре котельной. Такая котельная мощностью 1 – 10 МВт в общем случае состоит из следующих основных элементов и вспомогательного оборудования :

- склада топлива;
- устройств транспортировки топлива;
- промежуточного топливного бункера;
- системы топливоподдачи котла;
- установки для сжигания - котла;

- оборудования очистки дымовых газов;
- оборудования золоудаления.

Для того, чтобы определить необходимую мощность проектируемой котельной, подключаемой к отопительной системе, необходимо знать годовую тепловую нагрузку последней. Кроме того необходимо знать суточную тепловую нагрузку и график изменения тепловой нагрузки в течении года (см. п. 7.2). На основе этого определяется запас топлива в складе котельной.

Величина запаса топлива, складированного в котельной, и, следовательно, объем топливного склада зависят от многих факторов, включая договор с поставщиком топлива. В общем случае минимальный запас топлива рассчитывается исходя из обеспечения работы котельной в течении 5 суток при полной нагрузке. Такой запас гарантирует работу котельной по выходным и праздничным дням в экстремальных погодных условиях. Из условия обеспечения пожаробезопасности не рекомендуется складировать топливо в кучи высотой более 8 метров.

**Техника безопасности.** При работе в складе, содержащим древесную щепу, существует опасность вдыхания аллергичной пыли или микроорганизмов, поэтому складское помещение должно иметь хорошую вентиляцию, и на складе не рекомендуется работать в одиночку.

Насыпной объем у разных биотоплив сильно различается. Данное обстоятельство следует учитывать при проектировании топливного склада. На Рис. 5.1 представлены объемы различных твердых топлив, которые при полном горении выделяли бы столько же тепла, сколько легкое жидкое топливо, т.е. при сравнении за основу принят объем легкого жидкого топлива.

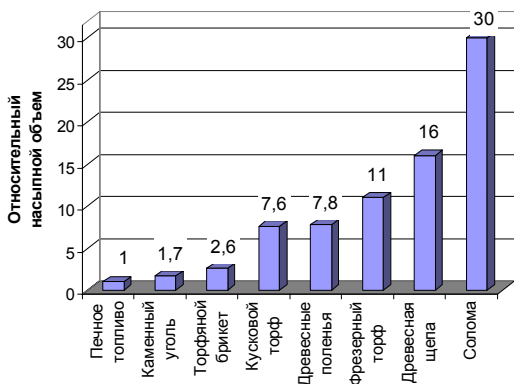


Рис. 5.1. Сравнение насыпного объема топлив

Оборудование для складирования и подачи в котел древесной щепы, кускового и фрезерного торфа отличаются незначительно, в основном только конструкцией конвейеров. В то же время солома зерновых по своим свойствам является настолько отличающимся топливом, что необходимо выполнение особых условий при его складировании и применение разработанных специально для этого топлива технологических решений подачи ее в котел.

Склад биотоплива должен удовлетворять следующим основным требованиям:

- обеспечивать защиту топлива от влияния погодных условий, грунтовых и почвенных вод;
- склад должен быть механизирован, при больших мощностях – автоматизирован;
- у транспортных средств, доставляющих топливо на место должна быть возможность выгрузки непосредственно на склад или на механизированное приемное устройство.

Основные сбои в работе котельных на биотопливе имеют место при транспортировке топлива со склада в питательную систему котла. Поэтому, вся система подачи от склада до котла имеет важное значение. Работа всей котельной останавливается, если в цепочке топливоподачи какое-нибудь

звено выходит из строя. В складах котельных на биотопливе (древесная щепа) перед подачей топлива в котел используется дробилка, в задачу которой входит, в основном, дробление смерзшегося топлива.

## 5.2. Типы складов

Склады можно условно разделить на:

- промежуточный склад (топливный склад) – вмещает примерно пятисуточный запас топлива,
- основной склад – для размещения суточного запаса топлива и автоматизации снабжения котла топливом.

В большинстве случаев промежуточный и основной склады размещаются в одном строении, например, в строении, имеющим двухскатную крышу и бетонированный пол (см. Рис. 5.2). Промежуточный склад может располагаться и отдельно. В случае древесной щепы промежуточным складом может служить бетонированная или асфальтированная открытая площадка, однако здесь топливо становится не защищенным от влияния погодных условий.

Для заполнения основного склада в автоматизированных котельных большой мощности используется грейферный кран, снабженный системой автоматического поиска (см. Рис. 5.4). В более мелких котельных для подачи топлива с промежуточного склада в основной применяются также бульдозер или автопогрузчик с фронтальным ковшом (см. Рис. 5.3).

Механизированный склад кускового торфа содержит устройства для приемки и отгрузки топлива и соответствующие строительные сооружения. Конструктивно склад может быть выполнен в виде здания или бункера.





*Рис. 5.2. Промежуточный топливный склад (фото Ю. Касък)*



*Рис. 5.3. Автопогрузчик с фронтальным ковшом (фото Ю. Касък)*

Бункеры могут быть частично открыты для заезда погрузочно/разгрузочных устройств, для этого одна стенка или крыша бункера делается открывающейся. Находит также применение такой способ разгрузки, при котором топливо отгружается с машины, заезжающей на эстакаду или на дополнительные приемные устройства. В первом случае грузовой транспорт заезжает на эстакаду или возвышение и сыпает топливо в бункер сверху. Такой вариант применяется преимущественно при использовании грузового транспорта с боковым опрокидыванием кузова. Во втором случае грузовой транспорт имеет заднее опрокидывание или же его кузов оборудован разгрузочным

конвейером. Третьей возможностью является разгрузка грузового транспорта на нулевом уровне в заглубленный бункер или на находящийся на этом уровне дополнительный конвейер, соединяющийся с расположенным на уровне земли бункером.

В общем случае бункер должен иметь вертикальные или расширяющиеся к низу стенки. В противном случае существует большая вероятность образования из топлива свода в месте устройства отгрузки бункера. Во избежание смерзания влажного топлива основание и стенки бункера покрываются водостойкой скользящей фанерой. Бункер может иметь сужающиеся к низу стенки при использовании чистого и сухого кускового торфа (размер кусков менее 20 мм составляет меньше 5%, влажность меньше 33%), поскольку опасность образования свода невелика. В таком складе, расположенном вне здания, стены должны иметь утепление и подогрев. При этом размер такого склада ограничен и, кроме того, необходимо ограничиваться запасом топлива на ступень меньше (например, вместо трехдневного – однодневным).

### **5.3. Устройства для транспортировки и подачи топлива**

Как было упомянуто выше, для загрузки топливом основного склада в больших котельных используются бульдозеры и погрузчики с фронтальным ковшом, или грейферный кран с системой автоматического поиска. Погрузчик применяется в тех случаях, когда промежуточный склад находится в одном строении с основным или рядом. Грейферный кран используется при расположении вспомогательного и основного складов в одном здании. В некоторых случаях топливо подается грейферным краном прямо на питатель котла.

**Грейферный кран** (см. Рис. 5.4).

Данный кран является высокопроизводительным устройством транспортировки топлива, пригодным также для

транспортировки низкокачественных топлив, но при этом должен быть использован зубчатый грейфер. Наполнение ковша гладким грейфером является крайне затруднительным. Если для котельных большой мощности такой кран является относительно недорогим решением, то для очень маленьких котельных оказывается слишком дорогостоящим.



Рис. 5.4. Грейферный кран (фото Ю. Касък)

В конструкцию основного склада входят устройства по его разгрузке. Основные требования, предъявляемые этим устройствам, следующие:

- устройства должны обеспечивать заданную производительность и позволять ее регулировать;
- горловина, через которую происходит выгрузка топлива, не должна забиваться;
- пустой склад должен выдерживать динамический удар от падающего топлива;
- топливоподача должна моментально прекращаться при остановке оборудования;
- обеспечивать полную разгрузку склада;
- разгрузки и конструкция склада должны исключать образование свода;

- конструкция должна быть огнестойкой;
- должно быть исключено пыление;
- при выборе материалов необходимо учитывать их износ.

Наиболее распространенные устройства разгрузки склада:

- штоковые скребки;
- цепные скребки;
- подвижные шнеки, в свою очередь подразделяются на поворотные и поступательные;
- поворотное основание;
- гидроротор.

Далее будут более детально рассмотрены устройства разгрузки основного склада, получившие наибольшее распространение.

#### **Гидравлические штоковые скребки** (см. Рис. 5.5).

На днище склада размещаются продольные балки/штоки, на которых закрепляются скребки треугольного профиля. В движение шток со скребками приводится гидроцилиндрами (см. Рис. 5.6). Форма скребка и встречное движение соседних скребков обеспечивает направленное движение топлива. При маленькой высоте слоя часть топлива совершает возвратно-поступательные движения. Для уменьшения такого эффекта используется специальная конструкция основания бункера. Проход, через который осуществляется выгрузка топлива со склада, должен размещаться по всей ширине основания бункера, а располагающийся под ним конвейер должен обеспечивать отвод всего поступившего туда топлива. Такие устройства используются для разгрузки прямоугольных складов с плоским дном.



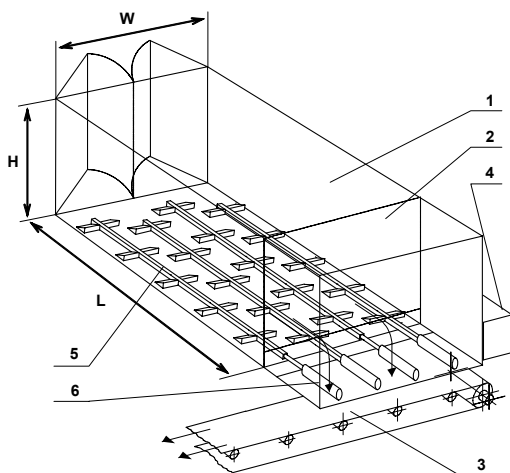


Рис. 5.5. Склад твердого топлива со скребками

1 – бункер; 2 – фронт бункера; 3 – конвейер ленточный; 4 – гидропривод; 5 – шток со скребками; 6 – гидроцилиндр.



Рис. 5.6. Гидроцилиндры привода скребков (Saxlund)

Преимущества склада, оборудованного скребками, закрепленными на штоках:

- основание склада располагается на уровне земли;
- конструкция является надежной, камни и пни не вызывают сбоев в нормальной работе;
- высота слоя может достигать 10 м;

- нуждающееся в обслуживании оборудование (гидравлика), находится вне зоны топлива;
- простая конструкция склада.

Недостатки:

- относительно высокое потребление энергии;
- выгрузка происходит неравномерно, склад полностью не опорожняется;
- повышенные требования к прочности конструкции (здания).

### Цепные скребки (см. Рис. 5.7).

В узком складе устанавливаются по 2 цепи, в более широком – 4. На цепи закрепляются в 1 или 2 ряда скребки в виде бруска или уголка. Привод цепи располагается в той части склада, где и разгрузочная амбразура, верхняя ветвь цепи является ведущей. Поскольку скорости движения скребков низкие, порядка 1 – 25 см/с, то используется храповой механизм, приводимый в движение гидро- или электроприводом, иногда гидромотором. Движение происходит в одном направлении. Данная система применяется также для разгрузки складов с прямоугольным плоским основанием. Преимущества цепных скребков:

- разгрузка топлива из бункера происходит равномерно и достаточно просто поддается регулированию;
- потребляемая мощность меньше, чем у штоковых скребков;
- обеспечивают полную разгрузку бункера.

Недостатки цепных скребков:

- более сложная конструкция, как следствие – меньшая, чем у штоковых скребков надежность;
- под складом должно быть предусмотрено дополнительное пространство, достаточное для размещения возвращающихся цепей со скребками, а также их очистки;

- высота слоя топлива и ширина склада ограничены (высота до 5 м).

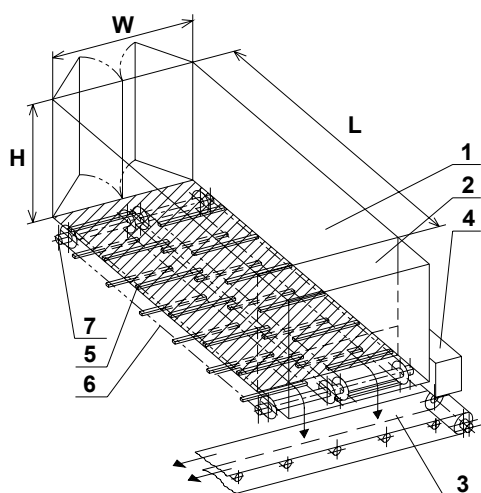


Рис. 5.7. Склад твердого топлива с цепными скребками (фото сверху Ю. Касък)

1 – бункер; 2 - фронт бункера; 3 – конвейер ленточный; 4 – насос масляный; 5 – скребок; 6 – тяговая цепь; 7 – натяжной ролик.

### **Винтовой конвейер** (см Рис. 5.8).

Различают шнековые конвейеры с подвижной и стационарной осью. Первые в свою очередь подразделяются на конвейеры, имеющие поступательное или поворотное движение оси шнека. Шнековые конвейеры с поступательным движением оси используются в бункерах, имеющих прямоугольное плоское днище. Шнек совершает возвратно-поступательные движения по дну бункера,

подавая топливо из бункера на расположенный снизу нормально к бункеру конвейер. Шнековые конвейеры с поворотной осью применяются на конусных или цилиндрических с плоским днищем бункерах. Вращающийся шнек подает топливо в амбразуру, располагающуюся в центре основания бункера, откуда оно затем попадает на следующий в цепи топливоподачи конвейер. На дне бункера может быть один или несколько транспортеров со стационарной осью. В первом случае бункер имеет сужение книзу, область применения такого бункера ограничена. Бункер с такой конструкцией находит применение только при использовании просеянного и сухого кускового торфа.

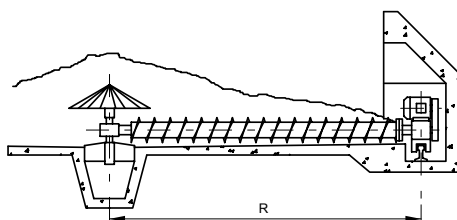
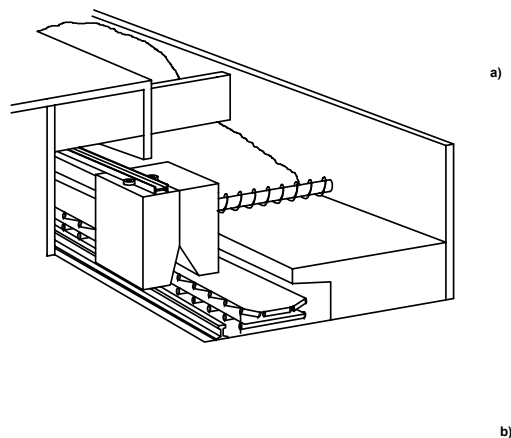


Рис. 5.8. Винтовой транспортер на дне склада

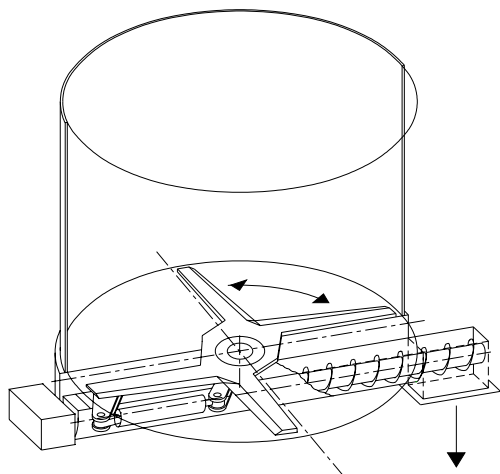
- a) транспортер с поступательным движением;
- b) транспортер с вращающимся движением оси.

Основные преимущества шнековых транспортеров:

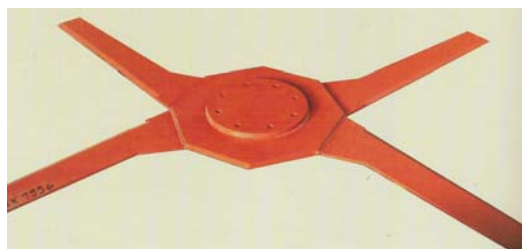
- возможна большая длина;
- равномерная производительность;
- точное регулирование производительности.

Недостатки:

- большой износ;
- чувствительность к наличию металлических частиц, камней, веток, коряг и т.д.;
- большой пусковой момент;
- измельчает транспортируемый материал (существенно для кускового торфа).



**А. Бункер**



**В. Ротор**

*Рис. 5.9. Бункер снабженный гидроротором (Saxlund)*

**Гидроротор** (см. Рис. 5.9).

В цилиндрическом бункере с плоским основанием устанавливается многолопастной ротор, реверсивное движение которого, создается за счет располагающихся под днищем бункера, гидроцилиндров. Профилированные лопатки ротора толкают топливо в находящиеся в основании бункера проходы, под которыми размещается конвейер. Гидророторы применяются для разгрузки топлива из цилиндрических бункеров, имеющих диаметр до 10 м и высоту до 25 м.

В зависимости от плюсов и минусов перечисленных выше разгрузочных устройств определяется их пригодность для того или иного топлива. В таблицах (см. Таблица 5.1 и Таблица 5.2) приведена оценка пригодности различных разгрузочных устройств, а также применимость конвейеров для кускового торфа и древесной щепы, являющейся зачастую резервным топливом котельных, использующих торф как основное топливо. Эти данные базируются на [57].

*Таблица 5.1. Пригодность разгрузочных устройств склада для твердых топлив*

Устройство	Кусковой торф	Древесная щепа
Скребковый со штоком	++	+++
Скребки с цепью	+++	+++
Подвижная основа	++	+++
винтовая основа	+	++
Гидроротор	+	+++

+ подходит с ограничениями

++ подходит

+++ подходит хорошо

Таблица 5.2. Пригодность различных конвейеров для твердого топлива

Устройство	Кусковой торф	Древесная щепа
Шнек	+	++
Ленточный конвейер	+++	+++
Элеватор	+	+++
Цепной скребковый конвейер	+++	+++

+ подходит с ограничениями

++ подходит

+++ подходит хорошо

## 6. СНИЖЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ КОТЕЛЬНЫХ, ИСПОЛЗУЮЩИХ БИОТОПЛИВА

Хотя и считается, что котельная на биотопливе, экологична по отношению к окружающей среде, каждая технология в какой-то мере оказывает влияние как на экологическую среду, так и на социальную. Котельная на биотопливе оказывает следующие прямые воздействия на окружающую среду:

- газообразные и твердые выбросы в атмосферу;
- зола, которую следует утилизировать;
- шум;
- транспортировка топлива большегрузами.

Нежелательное влияние шума и движения большегрузов можно сгладить правильным выбором места расположения и планированием котельной. С газообразными выбросами и твердыми отходами следует бороться, обращая больше внимания совершенствованию технологии сжигания и газоочистки, что должно создать условия для соблюдения все более строгих требований к охране окружающей среде.

### 6.1. Газообразные выбросы и твердые отходы

При горении в котле образуются твердые отходы, которые условно можно разделить на основную и летучую золу. При сжигании биотоплива основная зола осаждается на под топки, затем собирается и транспортируется обычно либо с помощью винтового конвейера, либо скребкового транспортера в бункер. Летучая зола - это та часть золы, которая уносится с дымовыми газами через котельные дымоходы в дымовую трубу.

Суммарный объем твердых отходов напрямую зависит от содержания золы используемого топлива. Содержание золы в сухой массе щепы и пеллетов из опилок в общем случае менее 1%. Содержание же золы в чистой щепе (окоренной) может быть ниже 0,3%. При использовании сырья низкого качества (больше коры, засоряющей поверхность), содержание золы может быть высоким (свыше 5%).

Содержание золы в обычном торфе составляет 4 – 6%, что примерно в 10 раз выше, чем в чистом древесном топливе. Содержание золы в соломе зерновых культур остается в пределах 3 – 5%.

При складировании или утилизации наряду с количеством золы следует учитывать и ее состав.

Вредными газообразными выбросами прежде всего считаются выбросы серы ( $\text{SO}_2$ ), азота ( $\text{NOx}^{11}$ ), угарный газ  $\text{CO}$ , несгоревшие углеводороды и углекислый газ  $\text{CO}_2$ .

Отдельно следовало бы рассматривать выбросы углекислого газа, повышение содержания которого в атмосфере вызывает глобальное потепление климата. При росте биомассы под действием фотосинтеза из атмосферы абсорбируется столько же углекислого газа, сколько позднее при сжигании выбрасывается обратно. Также следует отметить, что и при прении биомассы в природных условиях в атмосферу выделяется углекислый газ. Если биомассу сжигать в объеме ее естественного прироста, то выбрасываемый при сжигании углекислый газ влияния на атмосферу не оказывает и по международным соглашениям не принимается в расчет как парниковый газ.

Степени концентрации выбросов угарного газа и несгоревших углеводородов

---

<sup>11</sup>  $\text{NOx}$  используется для обозначения оксидов азота  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ . Азот может также присутствовать в выбросах в форме  $\text{N}_2\text{O}$

в дымовых газах практически зависят только от условий горения и равномерности распределения воздуха, идущего на горение.

Выбросы серы и азота зависят как от их содержания в топливе, так и от процесса горения. В торфе и в большинстве биотоплив, содержание серы и азота невелико, и уловители их соединений из дымовых газов в установках, сжигающих биотоплива, применяются редко.

## 6.2. Действующие нормативы для ограничения эмиссии загрязняющих веществ

Основное назначение рассматриваемой директивы 2001/80/ЕС - существенно снизить выбросы некоторых загрязняющих веществ в окружающую среду крупными сжигающими установками, и с этой целью устанавливаются их предельные значения. К крупным сжигающим установкам эта директива относит установки тепловой мощностью не ниже 50 МВт независимо от вида используемого топлива.

Биомасса определена как частично или полностью растительного происхождения продукт сельского хозяйства или лесоводства; содержащаяся в ней энергия может быть использована в качестве топлива. Дополнительно к биомассе могут быть отнесены следующие используемые на топливо отходы:

- растительные отходы сельского хозяйства или лесоводства;
- растительные отходы пищевой промышленности;
- волоконные растительные отходы производства свежей бумажной массы и бумаги в том случае, если они там же сжигаются и тепло используется в том же производстве;
- пробковые отходы;
- отходы древесины, прежде всего образующиеся при сносе и строительстве зданий, за исключением

имеющих пропитку и защитное покрытие, могущие содержать органические соединения галогенидов или тяжелые металлы.

Предельные значения выбросов загрязняющих веществ на единицу объема уходящих газов это предельное допустимое количество этих веществ, выбрасываемых в окружающую среду на нормальный кубический метр (при температуре 273 К и давлении 101,3 кПа) сухого дымового газа. В случае твердого топлива, в том числе биомассы, предельные значения даны при содержании кислорода в дымовых газах 6 объемных процентов.

Постановлением министра окружающей среды ЭР №112 назначены предельные выбросы загрязняющих веществ для крупных сжигающих установок, гарантирующие как соблюдение предельных годовых выбросов в Эстонии, так и локальное качество окружающего воздуха.

Чтобы обеспечить выработку рабочего ресурса действующих установок без крупных инвестиций в охрану окружающей среды, действующие и новые сжигающие установки рассматриваются отдельно.

*Таблица 6.1. Предельные значения выбросов диоксида серы для действующих установок, сжигающих твердое топливо*

Тепловая мощность сжигающих установок P, МВт	Предельные выбросы, мг/Нм <sup>3</sup>
50 ≤ P ≤ 100	2000
100 < P ≤ 500	2000 ... 400*
P > 500	400

\* – линейное снижение в соответствии с увеличением тепловой мощности.

Таблица 6.2. Предельные значения выбросов диоксида серы для новых установок, сжигающих биомассу

Тепловая мощность сжигающих установок P, МВт	Предельное выбросы, мг/Нм <sup>3</sup>
P > 100	200

Таблица 6.3. Предельные значения выбросов диоксида азота для действующих установок, сжигающих твердое топливо

Тепловая мощность сжигающих установок P, МВт	Предельные выбросы, мг/Нм <sup>3</sup>
50 ≤ P ≤ 500	600
P > 500, до 31.12.2015	500
P > 500, начиная с 1.01.2016	200 (450*)

\* – для сжигающих установок, которые не работают более 1500 часов в год (в среднем за пятилетний период).

Таблица 6.4. Предельные значения выбросов диоксида азота для новых установок, сжигающих биомассу

Тепловая мощность сжигающих установок P, МВт	Предельное выбросы, мг/Нм <sup>3</sup>
50 ≤ P ≤ 100	400
100 < P ≤ 300	200
P > 300	200

Таблица 6.5. Предельные значения выбросов твердых частиц для действующих установок, сжигающих твердое топливо

Тепловая мощность сжигающих установок P, МВт	Предельное выбросы, мг/Нм <sup>3</sup>
50 ≤ P < 500	100
P ≥ 500	50

Таблица 6.6. Предельные значения выбросов твердых частиц для новых установок, сжигающих твердое топливо

Тепловая мощность сжигающих установок P, МВт	Предельное выбросы, мг/Нм <sup>3</sup>
50 ≤ P ≤ 100	50
P > 100	30

Примечание: здесь термином “действующие” охвачены как уже существующие сжигающие установки, так и те, разрешение на строительство которых получено не позднее 27 ноября 2002 г. и они введены в эксплуатацию не позднее 27 ноября 2003 г.

Количества отходов малых сжигающих установок (< 50 МВт) едиными правовыми актами в ЕС напрямую не регулируются. Во многих странах соответствующие требования учреждены, однако по сути их сравнивать сложно, поскольку различаются принятые условия для предельных значений и соответствующих измерений. Например, в Австрии, одной из первых учредившей природоохранные требования к котлам, работающим на древесном топливе, предельные выбросы установлены исходя из энергосодержания топлива.



Таблица 6.7. Предельные значения выбросов в Австрии для котлов на древесном топливе

Тип оборудования	Предельные выбросы, мг/МДж			
	CO	NO <sub>x</sub>	OGC <sup>12</sup>	Частицы
Котлы, обслуживаемые вручную	1100	150	80	60
Автоматические котлы	500	150	40	60

Предельные выбросы на единицу энергосодержания нельзя сравнивать с содержанием загрязняющих веществ в дымовых газах без учета особенностей процесса. Например, величине 1100 мг СО/МДж соответствует примерно 1700 мг/Нм<sup>3</sup> или 1400 ppm<sup>13</sup>, если исходить из 13% содержания кислорода. При тех же условиях предельным значениям 150 мг/МДж соответствовало бы примерно 230 мг/Нм<sup>3</sup> или 110 ppm и содержанию углеводов 80 мг/МДж примерно 120 мг/Нм<sup>3</sup>.

В некоторых странах добровольно приняты специальные природоохранные стандарты, такие как „Blauer Engel“ в Германии и знак экологичности („Лепедь“) в Северных странах.

Требования знака экологичности Северных стран к котлам, работающим на твердом топливе (мг/м<sup>3</sup>).

Таблица 6.8. Требования знака экологичности в Северных странах к котлам на твердом топливе (мг/м<sup>3</sup>).

Мощность оборудования	CO	OGC	Частицы
< 100 кВт	1000 (2000*)	70	70
100 – 300 кВт	500 (1000*)	50	70

Примечание: при содержании 10% O<sub>2</sub> в дымовых газах.

В некоторых европейских государствах при оценке работы оборудования малых котлов исходят из лучших существующих технологий (BAT). Такими принципами руководствуются например, в Финляндии, Великобритании и Дании.

Проблемы окружающей среды, становясь все более актуальными, заставляют унифицировать требования и к оборудованию малых котлов, в том числе и к котлам на биотопливе. Европейский Комитет Стандартов CEN стандартом EN 303-5 устанавливает требования к котлам на твердом топливе номинальной выходной мощностью до 300 кВт.

<sup>12</sup> OGC – органические газообразные вещества

<sup>13</sup> ppm – частей на миллион по объему

Таблица 6.9. Предельные выбросы для финских малых котлов (< 50 кВт) на древесном топливе, где внедрены лучшие существующие технологии

Мощность оборудования (кВт)	NO <sub>x</sub>		SO <sub>2</sub>	
	мг/МДж	мг/м <sup>3</sup>	мг/МДж	мг/м <sup>3</sup>
1 – 5	100 – 130	250 – 325	–	–
5 – 10	50 – 100	125-250	–	–
10 – 50	20 – 50	50 – 125	–	–
1 – 50	–	–	100 – 150	250 – 375

Таблица 6.10. Предельные значения выбросов(г/м<sup>3</sup>, при 10% содержании O<sub>2</sub>) для котлов мощностью до 300кВт (согласно стандарту EN 303-5 )

Номинальная мощность (кВт)	Котлы, обслуживаемые вручную			Автоматические котлы		
	< 50	50-150	150-300	< 50	50-150	150-300
СО						
класс 1	25,00	12,5	12,5	15,0	12,5	12,5
класс 2	8,00	5,0	2,0	5,0	4,5	2,0
класс 3	5,00	2,5	1,2	12,5	2,5	1,2
ОГС						
класс 1	2,00	1,50	1,50	1,75	1,25	1,25
класс 2	0,30	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15
класс 3	0,15	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08
Твердые частицы						
класс 1	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
класс 2	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
класс 3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

Соблюдение требований стандарта EN 303-5 в ЕС не является обязательным, но поскольку стандарт одобрен Европейским комитетом стандартов CEN, то комитеты стандартов стран членов CEN обязаны акцептировать его в качестве государственного стандарта. Стандарт EN 303-5 является единой базой во всех странах ЕС25 для предприятий производителей котельного оборудования.

CEN/TC 295, технический комитет CEN, подготовил также стандарты на малое домашнее (< 50 кВт) отопительное оборудование и топки: EN 13229:2001, EN 13240: 2000, EN 12815: 2001 и EN 12809:2001.

### 6.3. Улавливание твердых частиц из дымовых газов

Очистка дымовых газов необходима для того, чтобы снизить содержание золы в уходящих из дымовой трубы газах до требуемого уровня. Содержание золы в дымовых газах определяется нормами на выбросы.

Для удаления летучей золы из дымовых газов можно применять различные методы и типы оборудования: мультициклоны, скрубберы, тканевые и электрофильтры. Новым направлением в очистке дымовых газов от летучей золы и увеличении энергетической эффективности котлов на биотопливе является охлаждение дымовых газов, сопровождающееся конденсацией водяного пара и улавливанием твердых частиц.

У всех упомянутых типов оборудования имеются свои преимущества и недостатки, поэтому выбор оборудования для очистки дымовых газов конкретного котла зависит от многих обстоятельств, в том числе и от мощности котла.

Для обеспечения высокой эффективности очистного оборудования, оно должно быть правильно выбрано и рассчитано. При расчетах циклона и электрофильтра скорость (объем) газов определяется размером золовых частиц.

Основные показатели, характеризующие работу газоочистного оборудования, приведены в следующей таблице (см. Таблица 6.11).

Таблица 6.11. Рабочие показатели газоочистного оборудования

Название оборудования	Содержание золы в газах, мг/Нм <sup>3</sup>	Рабочая температура °С
Мультициклон	150 - 500	< 500
Тканевый фильтр	10 - 50	< 150
Электрофильтр	99,9%*	< 300
Скруббер	50 - 100	< 70 - 80

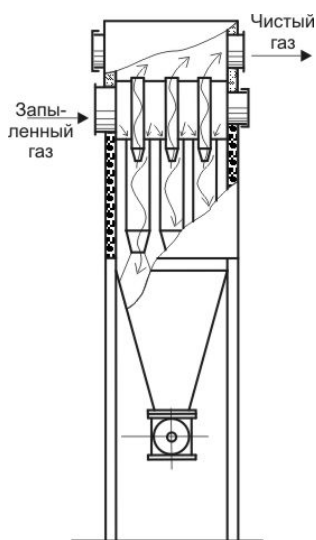
\* – Работа электрофильтра характеризуется эффективностью очистки.

#### 6.3.1. Мультициклоны

Циклон это аппарат для отделения твердых частиц от газового потока в вертикальной трубе под действием центробежных сил.

Мультициклон (см. Рис. 6.1) состоит из нескольких обычных или прямоточных циклонов, которые объединены коллектором и бункером в общую систему. Применением мультициклона добиваются уменьшения габаритов и снижения сопротивления газового тракта.

Летучая зола древесного топлива содержит сравнительно крупные частицы, легко улавливаемые в мультициклоне. Мультициклон может снизить содержание золы до ~150мг/нм<sup>3</sup>. Мультициклон сравнительно дешев, прост по конструкции и не требует обслуживания, поэтому в котельных применяется достаточно широко. Важно и то, что мультициклон не особенно чувствителен к температуре газов.



Производитель *Justsen Energiteknik A/S* (Дания)

Тип *JU-EM*

к.п.д.80 – 90%  
(зависит от размера частиц золы)

Содержание золы в уходящих газах 150 – 300 мг/Нм<sup>3</sup>  
(зависит от качества топлива)

Рис. 6.1. Мультициклон

### 6.3.2. Тканевые фильтры

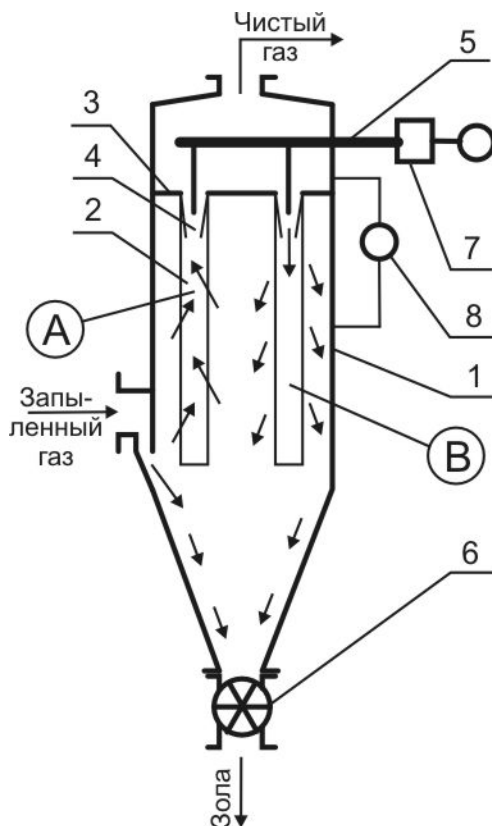
В тканевых фильтрах (см. Рис. 6.2) происходит улавливание твердых частиц из газового потока с помощью плотной ткани или пористой керамики.

Тканевые фильтры значительно эффективнее мультициклонов, они обеспечивают уровень содержания золы в дымовых газах 10 – 50 мг/Нм<sup>3</sup>. Рабочая температура в тканевых фильтрах, как правило, не превышает ~180°С. Наиболее часто в качестве фильтрующего материала используется полиэстер. Более химически- и термостойкий материал – тефлон, но он в десятки раз дороже полиэстера.

Чтобы избежать попадания в фильтр искры перед ним устанавливается циклон или камера осаждения. Тканевый фильтр нуждается в регулярной регенерации – чистке, для обеспечения эффективной работы и снижения аэродинамического сопротивления самого фильтра. Наиболее распространенные методы чистки тканевых фильтров: механическое встряхивание, реверс газового потока и импульсная очистка. Использо-

зуются также комбинированные методы очистки: например, за реверсированием газового потока следует механическое встряхивание.

Вследствие опасности воспламенения тканевый фильтр должен быть защищен от воздействия высоких температур и высокого содержания кислорода в дымовых газах. Обычно используются автоматическая защита, направляющая газ мимо фильтра.



А. Фильтрация, В. Регенерация

Рис. 6.2. Тканевый фильтр с импульсной очисткой

1 – корпус, 2 – фильтрующий элемент, 3 – трубная доска, 4 – сопло Вентури, 5 – коллектор сжатого воздуха, 6 – секторный затвор, 7 – соленоидный клапан, 8 – санометр

Тканевые фильтры используются в установках на биотопливе реже, чем мультициклоны. В крупных установках ткане-

вые фильтры используются как вторая ступень очистки после мультициклона.

### 6.3.3. Электрофильтры

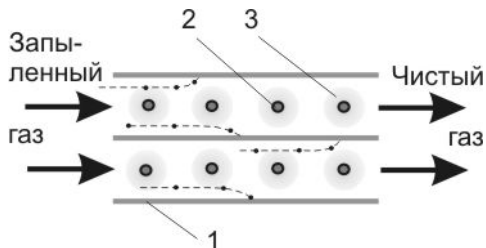
В электрофильтре (см. Рис. 6.3). очищаемый газ движется в электрическом поле и твердые частицы осаждаются на электродах.

**Принцип работы.** На электроды электрофильтра подается выпрямленное высокое напряжение, причем коронирующий электрод обычно негативный. Высокое напряжение создает между электродами корону, и большая часть газа между электродами отрицательно ионизируется. Отрицательно заряженные ионы под действием электрического поля движутся к осаждающим электродам. Сталкиваясь с твердыми частицами, ионы абсорбируются на их поверхности, в результате чего частички пыли, получив отрицательный потенциал движутся в направлении осаждающих электродов. Очистка электродов от осевших частиц производится регулярным встряхиванием.

Электрофильтр - эффективное, но относительно дорогое газоочистное устройство. Последнее обстоятельство ограничивает их применение в малых сжигающих установках на биотопливе.

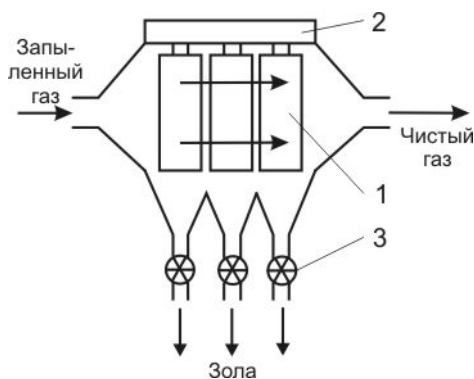
### 6.3.4. Конденсация дымовых газов

Конденсацией дымовых газов точнее конденсацией водяного пара из дымовых газов достигаются две цели: во-первых, снижается содержание твердых частиц в дымовых газах до уровня тканевого фильтра и, во-вторых, высвобождаемое при конденсации тепло увеличивает энергетическую эффективность (к.п.д.).



**А. Принцип работы**

1 – осаждающий электрод, 2 – коронирующий электрод, 3 – ионное поле или корона.



**В. Продольный разрез**

Рис. 6.3. Электрофильтр

1 – осаждающие электроды, 2 – оборудование высокого напряжения и встряхиватели электродов, 3 – секторные затворы.

Дымовые газы котла, работающего на биотопливе, содержат водяной пар, образование которого идет по двум направлениям: 1. находящийся в топливе водород, реагируя в процессе горения с кислородом воздуха, образует водяной пар, 2. в водяной пар переходит влага топлива (древесная щепа обычно содержит 35 – 55%).

Водяной пар, присутствующий в дымовых газах, представляет интерес прежде всего потому, что это не утилизированная энергия, которая высвобождается при конденсации (см. также п. 4.1.3). Теоретически высвобождаемая при конденсации энергия представляет собой теплоту парообразования плюс

теплота, получаемая при охлаждении. Водяной пар начинает конденсироваться при охлаждении ниже точки росы. Чем глубже охлаждение дымовых газов, тем больше конденсируется воды и получается тепла. Для охлаждения дымовых газов используется обратная вода отопительной системы. (см. Рис. 6.4, [63]).

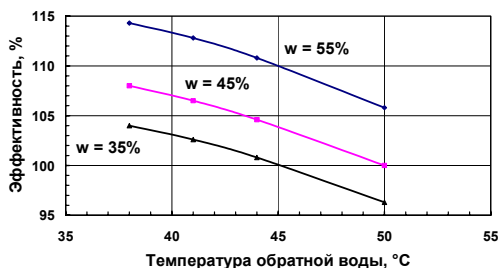


Рис. 6.4. Влияние конденсации дымовых газов на эффективность котельной

Охладитель дымовых газов это первое звено, которое проходит обратная вода в котельной. Остаточный продукт конденсации дымовых газов, состоит из воды, содержащей в небольшой степени частицы пыли и органические вещества неполного сгорания топлива.

В конденсате в небольших количествах могут присутствовать тяжелые металлы, хлор и сера. pH конденсата в зависимости от системы может варьироваться в широких пределах, хотя обычно составляет pH 6 – 7. Тяжелые металлы, прежде всего кадмий, содержатся в твердых частичках и не растворены в воде. В связи с этим перед сбросом конденсата его необходимо предварительно обработать. Обычно обработка заключается в фильтрации и нейтрализации воды до уровня, соответствующего требованиям охраны природы [28].

Для предотвращения дальнейшего переноса капель воды в дымоход и трубу за охладителем дымовых газов используется эффективный уловитель капель. В малых котельных, где применяется конденсация дымовых газов,

целесообразно для снижения риска коррозии в конструкциях газоходов и дымовых труб применять коррозионно-стойкие материалы.

## 6.4. Золоудаление и утилизация

### 6.4.1. Золоудаление

Как уже упоминалось выше, содержание золы в древесной щепе и пеллетах составляет примерно ~1%, в соломе зерновых культур 3 – 5%, торфе 4 – 6%. Эта негорючая минеральная часть топлива в процессе горения превращается в золу и подлежит удалению.

Золоудаление может быть как сухим, так и мокрым. В случае сухого золоудаления котел и дымоход должны быть оборудованы специальным устройством для обеспечения герметичности выгрузки топлива (секторные затворы, мигалки). На Рис. 6.5 представлен секторный затвор фирмы Saxlund.



Рис. 6.5. Секторный затвор (Saxlund)

Дальнейшая транспортировка золы в золовой контейнер осуществляется либо винтовым, либо скребковым транспортером (см. Рис. 6.6). В крупных котельных установках применяется пневмотранспорт.



*Рис. 6.6. Скребокый транспортер (Saxlund)*

В случае мокрого золоудаления применение специального оборудования для обеспечения герметичности не обязательно, так как присосы воздуха в котел исключаются благодаря водяным затворам. Серьезными недостатками являются тяжелая мокрая зола в золовом контейнере и коррозия.

Частота опорожнения золового контейнера зависит от расхода топлива и объема контейнера, рациональным можно считать 1 – 2 раза в месяц в период отопительного сезона. Варианты решений золовых контейнеров котельных на биотопливе представлены на Рис. 6.7.



**А. Контейнер золы с шнековым транспортером**



**В. Контейнер под золовым бункером. Между бункером и контейнером виден секторный затвор**

*Рис. 6.7. Золовые контейнеры, дымовая труба и дымосос в котельной Võrusoo (фото Ю. Каськ)*

#### **6.4.2. Утилизация золы**

Древесная зола содержит необходимые для растений питательные вещества, такие как калий, магний, фосфор. В связи с этим древесная зола может применяться для удобрения лесов в случае, если содержание какого-либо из компонентов не является слишком высоким и не превышает природоохранных норм.

При сжигании древесного топлива или соломы в их золе накапливаются тяжелые металлы. При этом, если



возвращать в разумных объемах эту золу на место произрастания исходного продукта, то воздействие ее будет не больше, чем от отходов рубки на лесосеках или соломы на пашнях. Поэтому для утилизации древесного топлива следует использовать лесные вырубки, а для утилизации золы соломы – пашни.

Зола торфа по своему составу не пригодна для удобрения лесных угодий или сельскохозяйственных полей в связи с чем применение ее ограничено. Эту золу можно применять, например как основу при прокладывании дорог. Если для золы торфа не удалось найти применения, следует эти отходы складировать, руководствуясь соответствующими требованиями. Утилизация золы торфа должна проходить согласно местному законодательству.

Существует определенная связь между качеством горения и содержанием полиароматических углеводородов (ПАН) в золе. Поэтому наряду с определением тяжелых металлов следует определять и содержание несгоревшего углерода в золе. Если содержание остаточного углерода в золе менее 5%, то определение ПАН можно проводить через год, если превышает 5%, то ПАН следует определять всегда [28].

## **6.5. Очистка поверхностей нагрева котлов от отложений**

Поверхности нагрева и топки котлов, работающих на биотопливе, покрываются с газовой стороны золой и сажой. Такие твердые остатки сжигания называются наружными отложениями поверхностей нагрева. Встречаются и отложения с водной стороны, называемые внутренними.

Загрязнение наружных поверхностей нагрева котлов на твердом топливе происходит значительно интенсивнее, чем например в котлах на газе или на легком горючем масле. Из-за отложений снижается охлаждение газов в котле, КПД котла и его тепловая мощность. Наружные отложения котлов на биотоп-

ливе в общем случае сыпучие или слегка уплотненные и не связаны крепко с поверхностью нагрева. Характер отложений зависит как от температурного режима поверхностей нагрева, так и от режима горения топлива.

Чтобы сохранить тепловую мощность котла на высоком уровне, поверхности нагрева следует регулярно очищать. Частота очистки зависит от интенсивности загрязнения и выбранных методов очистки.

В качестве методов очистки поверхностей нагрева котлов на биотопливе применяются: пневмоочистка, виброочистка и акустические методы очистки. В качестве методов очистки трудно удаляемых отложений известны также паровая обдувка и водяная обмывка, хотя их применение для котлов на биотопливе не представляет интереса.

Пневмоочистка. В газоходах котла устанавливаются обдувочные аппараты. Для увеличения охвата очистки они могут совершать как поступательное, так и вращательное движение. На период между очистками аппарат извлекают из газохода. Очистка осуществляется во время работы котла, ее процесс полностью автоматизирован. Для осуществления очистки необходим сжатый воздух.

Виброочистка. Очистка поверхностей нагрева осуществляется с помощью механического встряхивателя. Вибрация по трубам передается отложениям, на которые начинают действовать инерционные силы. Вероятность удаления отложений зависит от соотношения плотности отложений и силы инерции. Виброочистка применяется для очистки поверхностей нагрева ширм.

Молотковая очистка. Механический удар молоточком по поверхности нагрева сотрясает поверхность и как результат поверхность очищается от отложений. Частота ударов – от нескольких в минуту до нескольких десятков в минуту – выбирается в зависимости от интенсивности загрязнения. Этот метод

применяется для очистки поверхностей нагрева ширм от мягких несвязанных отложений.

Акустическая очистка. Очистка поверхностей нагрева от загрязняющих частиц осуществляется акустическим шоком, который повторяют до тех пор, пока поверхности не очистятся (*Nirafon, Primasonic*).

Для очистки малых котлов применяются простые методы очистки. В руководстве по эксплуатации котлов обычно указывается частота очистки поверхностей нагрева и топки и прилагается комплект принадлежностей для очистки (черпак и щетка).

## 7. ПЛАНИРОВАНИЕ ОСВОЕНИЯ ТВЕРДЫХ БИОТОПЛИВ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННОМ И МЕСТНОМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ

### 7.1. Определение теплотребления

Для принятия решения о развитии системы теплоснабжения важным параметром является теплотребление отдельных объектов – исходя из этого следует дименсионировать всю систему. Теплотребление зависит от многих факторов, наиболее важные из них:

- площади и объемы зданий;
- цель использования зданий;
- время эксплуатации;
- тип/характер вентиляции и время ее работы;
- особенности потребления горячей воды;
- техническое состояние системы теплоснабжения;
- привычки потребления.

Для упрощения оценки нужд потребителей целесообразно разделить их на группы в зависимости от характера и потребностей. Группы потребителей могут быть, например, такими:

- жилища;
- офисные здания;
- магазины;
- школы и детские учреждения;
- больницы;
- гостиницы.

В данный перечень не включены промышленные предприятия, где тепло потребляется для технологического процесса. Для каждой группы потребителей тепла, как правило, существуют опреде-

ленные особенности, которые следует принимать в расчет. Если потребление тепла для отопления типичных потребителей этих групп не особенно различаются, то в потреблении горячей воды различия могут быть большие. И, несомненно, будут различия в характеристиках и работе вентиляционной системы.

Определить теплотребление потребителями можно несколькими способами. Если имеем дело с потребителями, которые получают тепло уже несколько лет, причем потребление измерено, то следует исходить из фактического потребления за предыдущие годы. Желательно пользоваться данными за последние три года. При этом следовало бы потребление тепла, идущего на отопление, так сказать нормализовать (пересчитать на среднестатистический год), применяя понятие градусодни соответствующего года. Не целесообразно пользоваться данными за более длительный период, т. к. в этом случае на теплотребление могут повлиять (как правило снизить) проведенные в этот период работы по обновлению и утеплению оборудования.

Следует подчеркнуть, что при оценке ожидаемого потребления тепла на основании реально существующих объемов, надо обязательно учитывать вероятное сокращение тепловой нагрузки. Причиной снижения объемов теплотребления могут стать: дополнительное утепление, более гибкое регулирование, использование более экономичного оборудования, а также изменение привычек потребления. На снижение потребления оказывает влияние и рост цен (как на тепло, так и на воду) и, например, установка в каждой квартире водометров. В любом случае нельзя не проводить анализ реальной тепловой нагрузки и ее возможного изменения, а исходить лишь из мощностей существующих котлов или проектных потребительских мощностей.

Опыт последних лет, особенно в странах с переходной экономикой, показал, что в системах центрального теплоснабжения мощности производства и пере-

дачи тепла завышены, особенно учитывая существенное снижение теплотребления в ближайшем будущем.

Для реальной оценки теплотребления необходимо также учитывать появление возможных новых потребителей. Соответствующую информацию можно получить у местных самоуправлений. Еще лучше, если у местных самоуправлений имеется детальная программа развития энергетического сектора.

Теплотребление новых потребителей системы теплоснабжения можно определить из проектной документации, но это имеет отношение только к новому строительству. Если новый потребитель ранее пользовался местной системой теплоснабжения, тогда можно воспользоваться данными о его прежнем потреблении. Для присоединяющихся в отдаленной перспективе потребителей можно ограничиться более грубыми оценками, основанными например, на количестве потребителей, кубатуре и пр.

В некоторых регионах может создаться ситуация, когда надо будет считаться с решением кого-либо из потребителей выйти из системы централизованного теплоснабжения. Этот вариант может оказаться реальным в тех регионах где местное самоуправление не утвердило зону системы централизованного теплоснабжения или в регионе нет возможностей для функционирования системы теплоснабжения в соответствии с государственными правовыми актами. В регионах, где качество центрального отопления низкое, а цена относительно высокая, или поблизости проходит газовая трасса, возможен переход на местное теплоснабжение. В таких случаях предприятиям централизованного теплоснабжения необходимо в тесном сотрудничестве с местным самоуправлением найти решения, приемлемые как для отдельных потребителей, так и для региона в целом.

Если энергопотребление можно определить на основе данных о существующих потребителях, то необходимую нагрузку

определить сложнее. Определение нагрузки имеет очень важное значение, так как на этом основании определяется необходимая мощность котлов. Следует учитывать, что нагрузка меняется как в течение года, недели, так и суток и в очень большой степени зависит от типа потребителя. В связи с этим следовало бы суммировать энергопотребление важнейших групп потребителей. Искомую нагрузку получаем делением этой суммы на длительность пиковых нагрузок. Более точных рекомендаций в данной части дать невозможно, так как очень важную роль играют климатические условия региона. Например, один из факторов определения нагрузки – минимальная расчетная температура в регионе, для Эстонии это  $-19 \dots -23 \text{ }^\circ\text{C}$ , для Стокгольма  $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ , для северных районов Финляндии и Швеции  $-29 \dots -32 \text{ }^\circ\text{C}$ . Чем ниже принятая при проектировании температура, тем длиннее расчетная длительность пиковой нагрузки.

При определении необходимой нагрузки следует принимать в расчет неравномерность теплотребления, которая зависит от характера потребления, так для жилых домов должна учитываться неравномерность потребления горячей воды и применяться коэффициенты одновременности.

В заключении можно констатировать, что обычно за необходимую нагрузку принимается примерно 80% от суммы, полученной при сложении мощностей, потребляемых отдельными группами потребителей.

Найденная таким образом мощность является мощностью, необходимой для потребителей. Для расчета необходимой мощности котлов следует принять в расчет потери в теплотрассе.

## **7.2. График тепловой нагрузки**

Как уже отмечалось ранее, тепловая нагрузка как в течение года, так и в течение суток меняется. Определение изменения нагрузки весьма сложная задача. Для ее упрощения

рекомендуется пользоваться графиком тепловой нагрузки. Это особенно необходимо, если в котельной больше одного котла. Для составления графика измеряют с определенной частотой нагрузку котлов (рекомендуется каждый час). Затем надо расположить измеренные значения нагрузки по убыванию и нанести их на график. На горизонтальной оси наносится число часов в году (8760), на вертикальной –

нагрузка. Таким образом получим график нагрузки в течение года.

Представленная на графике площадь под кривой показывает произведенное за данный период количество тепла. Форма графика тепловой нагрузки может быть очень разной, в зависимости от климатических условий региона, характера теплопотребления и многих других факторов.

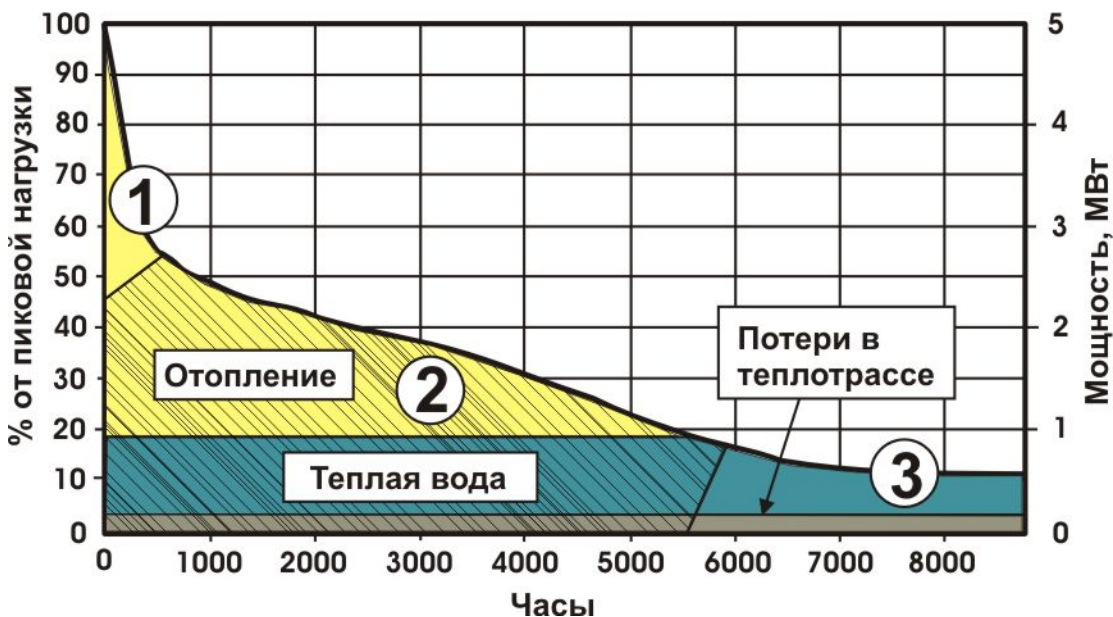


Рис. 7.1. График нагрузки

1 – пиковая нагрузка покрывается котлом сжигающий жидкое или газообразное топливо; 2 – базисная нагрузка покрывается котлом сжигающий биотопливо; 3 – летнее теплопотребление

Применяемое в теплоснабжении понятие градусодень выражает различие между средней расчетной температурой внутри здания (т.н. средневзвешенная) и среднесуточной температурой наружного воздуха. Например, если среднесуточная температура наружного воздуха составляет  $2^{\circ}\text{C}$ , то число градусодней будет 16 ( $18 - 2$ , за расчетную температуру принято  $18^{\circ}\text{C}$ ). До сих пор в системе теплоснабжения между странами отсутствует единая практика в

использовании понятия градусодней. Например, существуют различия в части определения средней расчетной внутренней температуры, а также различия в расчетных методиках. Поэтому данные, полученные в разных странах, не всегда сопоставимы, что однако не препятствует использованию понятия градусодней при анализе изменений теплопотребления в рамках, скажем, одной котельной. Желательно данные о градусоднях, полученные в разные годы, нормализовать, пересчи-

тав их на среднестатистический год. Это позволит определить причины изменений теплопотребления, например, снижение теплопотребления может быть вызвано либо внедрением энергосберегающих мероприятий, либо потеплением.

### 7.3. Выбор котлов

Так как котлы, работающие на биомассе, относительно дорогие, перед вложением инвестиций очень важно подобрать котел или котлы таким образом, чтобы их использование максимально отвечало предъявляемым к ним требованиям. Нарботка котла в год должна быть максимальной. Далее при выборе котла рассматриваются общие принципы и критерии. Представляемые соображения прежде всего подходят для тех котельных, где используется не более трех котлов.

Воспользовавшись составленным ранее графиком нагрузок, можно проанализировать характер тепловых нагрузок в течение года. Обычно видно, что для покрытия зимнего пика нагрузок надо произвести всего 8-15% от годового количества тепла. В системе централизованного теплоснабжения с типичными потребителями летнее энергопотребление составляет ~ 10% от среднегодового, и эту особенность также следует учитывать при выборе котлов.

В расчет следует принять еще несколько факторов. Следует учитывать, что рабочую нагрузку котла не целесообразно поддерживать ниже номинальных значений, так как это приведет к существенному снижению КПД. Высокого значения КПД и низких выбросов можно добиться выравниванием рабочей нагрузки. Так как ввод в эксплуатацию котлов на биотопливе по сравнению с искомыми сопровождается крупными дополнительными инвестициями (при том, что стоимость топлива невысока), котел на биотопливе следует выбирать так, чтобы номинальная нагрузка поддерживалась 3000 –

5000 часов в год в зависимости от климатического пояса. Для климатических условий Эстонии с учетом цены топлива экономически целесообразно поддерживать номинальную нагрузку более 4000 часов в год.

Для большинства котлов, работающих на твердом топливе, нижним пределом эксплуатационной мощности можно принять ~30% от номинальной. Из этого следует, что мощность котла на биотопливе следует выбирать на 40 – 50% ниже пиковой нагрузки. Таким образом, котлы на биотопливе следует использовать для покрытия базовой нагрузки. Базовая нагрузка – это равномерная нагрузка, которая обеспечивает котлу возможно более длительную работу при номинальной мощности. Котел, мощность которого составляет 50 – 60% пиковой нагрузки, обычно способен вырабатывать 80 – 90% годового теплопотребления.

Для покрытия пиков целесообразно выбрать котел, работающий на искомым топливе (например, печном), мощность которого составила бы 50 – 60% от пиковой нагрузки. В случае, когда летняя нагрузка низкая (потребляется только горячая вода), можно также использовать этот котел, отказываясь от работы с низкой нагрузкой биотопливного котла.

Следует отметить, что котлы, рассчитанные на сжигание высококачественного древесного топлива (пеллеты, брикет), регулируются лучше и в широком диапазоне. Поэтому можно выбрать котел мощностью 65 – 70% от пиковой нагрузки, работающий на пеллетах, и в этом случае будет покрыто 90 – 95% годового энергопотребления. Стоит оценить применение котлов, работающих на пеллетах, и для покрытия пиковой нагрузки.

В средних и частично в малых котельных, работающих на биотопливе, часто используются три котла: котел, работающий на биотопливе с базовой

нагрузкой и два котла на печном топливе, один из которых работает для покрытия пиковой нагрузки и летней низкой нагрузки, а второй находится в резерве.

Мощность резервного котла должна быть, как правило, равна мощности самого крупного котла. Часто в качестве резервного котла приходится использовать какой-нибудь старый, еще пригодный к эксплуатации хотя и малоэффективный котел.

В связи с выбором мощности котлов следует упомянуть еще возможность аккумулирования тепла (горячая вода). Эту возможность следовало бы хорошо взвесить в связи с неравномерностью потребления в течение суток. Тепло аккумулируется в период малого потребления, сохраняется и расходуется в часы наибольшей нагрузки. Это создает возможность для снижения мощности пикового котла. Накопитель тепла можно использовать и в летний период для аккумулирования энергии солнца. Конечно рациональность принятия такого решения зависит от климатического пояса/широты.

#### **7.4. Инфраструктура котельной**

Проектируя котельную, работающую на биомассе, следует учитывать, что вместе со складом топлива для такой котельной потребуются площади большие, чем для котельной, работающей на фоссильном топливе. Если биотопливо будет использоваться на базе существующей котельной, то в большинстве случаев есть возможность разместить котлы в уже имеющихся помещениях, но потребуются дополнительные площади под склады для топлива. При решении проблемы с площадями придется также учитывать и необходимость удаления и складирования золы, а также регулярной чистки котла. При строительстве новой котельной следует очень тщательно подходить к выбору места расположения. В обоих случаях наряду с решением производственных и технических проблем следует обратить

серьезное внимание на соблюдение природоохранных требований. Эти требования вместе требованиями пожарной безопасности являются определяющими, особенно при строительстве котельной в регионах с плотной застройкой. Возможности разрешения этих проблем показывает практика многих стран. Окончательный выбор места строительства производится в соответствии с конкретными условиями, строительным законодательством страны и правовыми актами местного самоуправления. В части природоохранных требований также невозможно дать универсальные рекомендации. Следует соблюдать местные требования, в которых указываются, например, пределы выбросов в окружающую среду, высота трубы, уровень шума и т.д.

Определение границ возможного расположения складов биотоплива при выборе места под строительство котельной является очень важным. При выборе места под строительство крупной котельной следует обязательно предусмотреть сложности, связанные с транспортом: обеспечен ли достаточный проезд для большегрузов и место для их маневров. Эти проблемы легче решить при строительстве новой котельной. В случае котельной на щепе мощностью менее 1МВт объемы щепы такие маленькие, что особых сложностей с транспортом обычно не возникает.

При определении территории под строительство крупной котельной на биотопливе можно исходить, в основном, из следующих примерных оценок (см. Таблица 7.1).



Таблица 7.1. Ориентировочная территория, необходимая для котельных, работающих на биотопливе [64]

Мощность, МВт	Территория, м <sup>2</sup>
2	2500
5	3000
10	7000

Потребность в площадях самой котельной в значительной степени зависит от размеров котла. Нельзя также забывать и о площадях для котлов, покрывающих пиковые нагрузки и резервных. Если анализ тепловой нагрузки показал возможный ее рост в будущем, то по следовало бы оставить дополнительные площади для возможного расширения.

Склады для топлива основательно рассмотрены в 5 главе.

## 7.5. Топливо

При принятии решения об использовании биомассы нужно сделать принципиальный выбор между не облагоустроенным (например, щепы) и облагоустроенным (пеллеты) топливами. Свойства пеллет (а также древесных брикетов) и щепы довольно различны (см. п. 2.2), хотя на выбор топлива более существенное влияние может оказать местная обстановка: какой вид топлива производится и его цена.

В таблице (см. Таблица 7.2) представлены аспекты, на которые следует обратить внимание перед тем, как сделать выбор между пеллетами и щепой.

Взвесив все факторы делается выбор в пользу либо щепы, либо пеллет.

Таблица 7.2. Сравнение древесного топлива в зависимости от аспекта применения

	Плюсы	Минусы
Щепы	<ul style="list-style-type: none"> <li>как правило местное топливо</li> <li>благоприятствует местной трудовой занятости</li> <li>дешевле пеллет</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>крупные инвестиции</li> <li>нужны большие склады</li> <li>качество неравномерное</li> <li>применение трудоемкое</li> </ul>
Пеллеты	<ul style="list-style-type: none"> <li>качественное (стандартизированное)</li> <li>не большие склады</li> <li>применение не трудоемкое</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>дороже щепы</li> <li>не благоприятствует местной трудовой занятости</li> </ul>

При выборе топлива следует вместе с технологическими аспектами провести основательное исследование ресурсов и рынка. В случае выбора в пользу щепы непременно следует выяснить производителей этого вида топлива в ближайшем окружении (в радиусе до 100 км). При этом следует обратить внимание на вид щепы и ее свойства, особенно на влажность. В расчет следовало бы принять объемы производства щепы и надежность поставщика, а также его перспективы на развитие производства, не откажется ли он от поставок, например через несколько лет. Следует прояснить возможность заключения договора на поставку на длительный срок и условия этого договора. Так как перспективы на развитие производителей щепы напрямую связаны с развитием соответствующего лесного хозяйства региона, то при строительстве крупной

котельной не было бы лишним прояснить планируемые объемы вырубки в ближайших лесных хозяйствах.

Договор на поставки на длительный период топлива желаемого качества и подходящей цены это один из важных факторов успешности проекта. Это особенно важно при использовании щепы. Анализ проектов по использованию щепы показывает, что причинами неудач в осуществлении проектов часто являются проблемы, связанные с качеством щепы и надежностью поставок. Нормальную работу усложняет нерегулярность поставок (временная случайность), хотя и несоответствие нужным свойствам топлива также представляет проблему. Поэтому в случае котельной на щепе было бы важно уже на стадии планирования договориться с потенциальными поставщиками об основных свойствах поставляемой щепы, таких как содержание влажности, объем тюка и т.д. Переговоры должны быть достаточно основательными и при этом каждый термин для обеих из договаривающихся сторон должен иметь одинаковое значение. При переговорах обратить особое внимание на свойства топлива (см. п. 2.5). Договариваться следует также о графиках поставок и о размерах транспорта. Для успешного осуществления проекта было бы полезно по возможности заключить предварительный договор с поставщиком топлива, в котором фиксировались бы важнейшие условия. С целью гарантирования бесперебойности поставок было бы важно иметь договора с разными поставщиками. Однако следует учитывать, что если щепа поступает только от одного поставщика, то проще обстоит дело с определением свойств щепы, и проще разрешить возможные конфликтные ситуации.

В расчет следует принять также и ценовой риск. На фоне общей тенденции роста цен на топливо и энергию естественно предположить, что

и цены на биотопливо продолжат расти. При этом влияние различных факторов в разных странах может быть не одинаково. Поскольку щепа по большей части является топливом местного происхождения, то здесь большое влияние имеют региональные факторы.

Древесные пеллеты это топливо, с которым выходят на международные рынки, поэтому здесь приходится учитывать уровень цен в близлежащих странах. Однако, вследствие высокого налогообложения на фоссильное топливо, а также на эмиссию CO<sub>2</sub>, возможно относительное снижение цен на биотоплива. На экономическую окупаемость биотоплива обязательно влияют и практикуемые в разных странах направленные дотации. Вот почему более точные решения можно принять только исходя из конкретных условий.

#### **7.6. Экономическая оценка и анализ проектов использования биотоплив**

Основными показателями, от которых зависят размеры склада, являются: вид топлива, стабильность поставок, размер имеющихся помещений и территории, габаритные размеры грузовиков и т.д. Если возможно в существующем строении разместить склад топлива, то обычно оказывается дешевле договориться о графиках поставок топлива, исходя из объема склада, чем построить новое складское помещение. При строительстве нового склада следует исходить из того, что его минимальная вместимость должна быть по крайней мере на 50 % больше вместимости грузовика. Вероятно нужно учитывать и то, что с имеющимся запасом топлива можно было бы «пережить» по меньшей мере двухдневную паузу в поставках, вызванную т.н. выходными днями и праздниками и т.д..

Для малых котельных, использующих пеллеты, можно рассмотреть возможность установки контейнера, куда летом можно закупить и поместить весь

годовой запас топлива. Это целесообразно в том случае, если летние цены на пеллеты ниже зимних. В случае складов с пеллетами особенно строго следует соблюдать правила пожарной безопасности и по возможности избегать впитывания ими влаги.

#### **7.6.1. Экономическая оценка проектов использования биотоплив**

Доходы предприятия центрального отопления формируются от продажи тепла (иногда и электричества), и они должны в полном объеме покрывать расходы. Расходы включают:

- расходы на топливо, где должны быть учтены как расходы на биотопливо, так и на ископаемое;
- капитальные затраты, такие как погашение займов и процентов по займам;
- текущие расходы - это ежедневные расходы, связанные с эксплуатацией;
- расходы на обслуживание, куда входит как плановое обслуживание, так и ликвидация возможных аварий;
- прибыль.

Прибыль понимается и рассматривается по-разному – во многих странах прибыль – это денежный источник, из которого делаются инвестиции, совершенствуются технологии, снижается вредное воздействие на окружающую среду и улучшаются условия труда. Доходы владельца от деятельности энергетического предприятия, т.н. дивиденды, получаемые от акций, могут быть как разрешенные, так и запрещенные.

В некоторых странах (например в Дании) предприятия централизованного теплоснабжения, как правило, принадлежат местным самоуправлениям, и там получение дохода владельцем запрещено. В Эстонии же большинство предприятий централизованного теплоснабжения находится в частном

владении, и в интересах владельца получить умеренный доход по акциям, что гарантирует лучшее хозяйствование предприятия.

В расчетах расходов на топливо обычно самым сложным является прогноз изменения цен, т.к. планируемые выплаты по инвестициям в большей степени зависят от цен на топливо в возвратный период. Цены на ископаемое топливо формируются, в основном, на международном топливном рынке и что касается биотоплива, то международная торговля все больше влияет на формирование их цен.

На цену топлива оказывают влияние и налоги, связанные с охраной окружающей среды, что, в основном, затрагивает ископаемые топлива, при этом конкурентоспособность биотоплива повышается.

Сделанные инвестиции, возвращение займов и проценты формируют капитальные затраты. При расчете капитальных затрат учитывается процентная ставка, длительность периода и условия возвращения займа, а также период эксплуатации оборудования. При оценке инвестиций не учитывается, из каких финансовых источников получены деньги, т.е. для оценки проекта не имеет значения, осуществляется финансирование на основании собственного капитала или банковского займа (см. п. 7.6.2).

При оценке экономической деятельности предприятия и целесообразности инвестиций полезно рассматривать расходы по позициям: постоянные и переменные. К постоянным относятся расходы, объем которых не зависит от производства тепла, т.е. от нагрузки оборудования, а примерно пропорционален мощности оборудования. К постоянным расходам, например, относятся капитальные расходы и зарплата основного состава работников. Так как потери тепла в трубопроводах центрального теплоснабжения не зависят от объема передаваемого

тепла, то потери тепла в трассах можно отнести к постоянным расходам.

Переменные расходы составляют, в основном, расходы на топливо, хотя и часть эксплуатационных расходов и расходов на обслуживание могут быть переменными.

### 7.6.2. Оценка рентабельности инвестиций

Для оценки рентабельности инвестиций можно воспользоваться несколькими различными методами:

- метод срока окупаемости, причем делается различие между простым временем окупаемости и т.н. дисконтированным временем окупаемости;
- метод текущей стоимости (*NPV*);
- метод внутренней доходности (*IRR*) и др.

При анализе инвестиций следует учитывать изменение с течением времени стоимости денег, т.е. определенная сумма денег (например, миллион крон) сейчас и через 10 лет не эквивалентны. Изменение стоимости денег с течением времени следует связывать не с инфляцией, а прежде всего с фактом, что деньги без движения не приносят дохода, а деньги, вложенные в предприятие, развивая хозяйственную деятельность, приносят доход.

Стоимость капитала (денег) на момент времени, когда осуществляется расчет, называется его текущей или дисконтированной стоимостью. Дисконтирование - это процесс пересчета стоимости выполняемых в будущем платежей на текущий момент времени и показывает скорость изменения ценности денег в процентах в год.

Сроком окупаемости инвестиций называется время, в течение которого окупаются инвестиционные затраты при нормальной эксплуатации оборудования. Используются два понятия срока окупаемости: не дисконтированный или

простой срок окупаемости и дисконтированный срок окупаемости.

Простой срок окупаемости рассчитывается легко, если годовые поступления (разница между доходами и расходами) равные. Простой срок окупаемости рассчитывается по формуле:

$$T = \frac{I_0}{a}$$

где  $T$  – простой срок окупаемости;

$I_0$  – объем инвестиции;

$a$  – ежегодная разница между доходами и расходами.

Расчет по приведенной формуле очень прост: не требуется процент по займу или другие заемные условия, а также знание финансовой ситуации. Из-за своей простоты этим показателем пользуются для первичной оценки окупаемости проекта. Если простой срок окупаемости длиннее, чем это устраивает заемщика и банк, следует внести изменения в проект для сокращения простого срока окупаемости.

Простой срок окупаемости показывает срок окупаемости при условиях, когда не выплачивается процент по займу, это значит, что стоимость денег не дисконтирована. Действительные выплаты по займу включают проценты по займу, поэтому они больше, а срок окупаемости действительного проекта длиннее.

Обычно нормальным сроком окупаемости считается 5 – 7 лет, что практически всегда значительно короче срока эксплуатации оборудования. Так как срок эксплуатации котельной, работающей на биотопливе, обычно превышает 15 лет, срок окупаемости не характеризует целесообразность котельной за весь период эксплуатации. Для компенсации этого упущения и для уточнения проекта и инвестиций применяется и другие методы. На основании представленного ходатайства о займе многие банки требуют представление как срока окупаемости, так и

размеры текущей и внутренней доходности.

Чистый дисконтированный доход показывает, какой доход будет получен за период действия проекта, если за основу взять стоимость денег на текущий момент. Чем больше чистый дисконтированный доход ( $NPV^{14}$ ), тем больший доход за период эксплуатации получит построенная в рамках проекта котельная. Отрицательное значение  $NPV$  показывает убыточность предприятия.

Значения показателя  $NPV$  сильно зависят от процента по займу (степень дисконтирования). Так как процент по займу может в течение ряда лет меняться, то желательно посчитать и степень внутренней нормы доходности ( $IRR$ ). Показатель  $IRR$  выражается в процентах и показывает максимальный процент по займу, при котором проект в течение срока действия еще принесет доход. Если расчетное значение  $IRR$  больше процента по займу (как текущего, так и прогнозируемого в будущем), то проект доходный и указывает на положительный  $NPV$ .

В настоящее время во многих странах проценты по займу достаточно низкие (часто ниже 4%). Такой низкий процент по займу на долговременный период рискованный и при оценке окупаемости проекта рекомендуется использовать более высокий процент по займу.

### **7.7. Особенности планирования внедрения биотоплива в местную систему отопления**

При выборе источника тепла как в системе центрального, так и местного отопления исходят из нагрузки и гра-

фика нагрузки (см. Рис. 7.1). В системе местного отопления тепловые нагрузки более низкие, чем в системе центрального отопления. Поэтому выбираются котлы (источники тепла) меньшей мощности, установка нескольких котлов не обоснована ни технически, ни экономически.

Если в местной системе отопления планируется использование биотоплива, то котлами на биотопливе следовало бы покрывать всю необходимую нагрузку. Расчетное время эксплуатации котла на биотопливе в системе местного отопления, рассчитанное по типичному графику нагрузки и в отсутствие котла, покрывающего пиковую нагрузку, почти наполовину короче, чем для котла на биотопливе, покрывающего основную нагрузку в системе центрального теплоснабжения.

Чтобы отказаться от сложного и дорогостоящего оборудования в местной системе отопления, желательно использовать биотоплива высокого качества. Особенно удобны в использовании пеллеты, они позволяют поддерживать уровень автоматизации практически как и в случае газового или жидкого топлива.

Компенсировать отсутствие котла для покрытия пиковой нагрузки можно установкой электрических отопительных элементов в котел на биотопливе или в другое место отопительной системы. Электричеством можно покрывать кратковременные пиковые нагрузки. Возможно также использование электрического отопительного элемента в качестве дополнительного источника тепла в домах на одну семью. Котел на биотопливе на время длительного отсутствия жильцов (например, на время зимнего лыжного отпуска) останавливают, а минимально необходимую температуру в системе отопления поддерживают электричеством.

---

<sup>14</sup> англоязычные аббревиатуры  $NPV$  (*net present value*) и  $IRR$  (*internal rate of return*) обозначают также имена стандартных функций, используемые в *MS EXCEL* для расчета значений  $NPV$  и  $IRR$

## 8. ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ КОТЕЛЬНЫХ НА БИОТОПЛИВЕ

В данной главе представлен опыт внедрения биотоплива в странах Балтии на конкретных примерах Эстонской республики. Древесина уже долгое время используется в качестве основного топлива для отопления зданий. Использование ее в качестве котельного топлива началось около 100 лет назад, изначально в котлах, генерирующих пар для паровых машин.

В 70-х годах прошлого столетия произошло стремительное развитие лесоперерабатывающей и деревообрабатывающей промышленности, образующиеся отходы все шире начали использоваться в котельных. Некоторые котлы на древесных отходах, внедренные в те годы, работают и по сей день.

В середине 90-х годов прошлого века начался массовый перевод угольных и мазутных котлов на древесину и торф. В странах Балтии, это произошло, в основном, по причине резкого удорожания топлива и снижения платежной

способности жителей в период больших политических и экономических перемен. Запустить программу быстрого и обширного внедрения биотоплива при реновации котельных центрального теплоснабжения помогли Всемирный банк, Европейский банк реконструкции и развития (*EBRD*) и особенно кредиты со стороны Швеции через Шведскую национальную комиссию по промышленному и техническому развитию (*NUTEK*, теперь *STEM*), а также технический совет специалистов северных стран. Безвозвратная помощь была оказана также со стороны Дании. Первая котельная нового поколения на биотопливе в Эстонии была подарком Датской республики (1993).

### 8.1. Статистические наблюдения

В период 1993 - 2003 гг. использование древесины и торфа в качестве котельного топлива значительно выросло. Согласно данным государственного департамента статистики (см. Таблица 8.1, [65]) на базе этих топлив в 2003 г. было произведено более чем в 3,5 раза больше тепла, чем в 1993 г., прирост был достигнут, в основном, за счет древесного топлива.

Таблица 8.1. Основные статистические данные по котлам на древесине и торфе в Эстонии [65]

Показатель	Ед. измерения	1993	1995	1998	2003
Количество котлов	шт.	609	1080	815	903
Мощность	МВт	712	1366	865	856
Производимое тепло	ГВтч	527	1191	1456	1941
Использованное топливо	ТДж	2790	6144	7099	8719

В котельных центрального теплоснабжения, промышленных предприятий и в местных отопительных котельных Эстонии в 2003 г. работало уже свыше 900 котлов, сжигающих биотопливо и торф, их суммарная мощность составила примерно 850 МВт. В 2003 г. этими котлами было выработано почти 2 ТВт·ч тепла,

что составило свыше 30% от общего количества произведенного в ЭР тепла. Необходимо отметить, что при этом доля выработанного тепла в котлах на жидком топливе снизилась до 22,5%, а котлы на каменном угле практически не использовались (около 0,01%).

Котлы, сжигающие древесину и торф, целесообразно рассматривать вместе, так как в топках этих котлов возможно сжигание как древесины, так и торфа. Если в качестве основного топлива в котле запланировано использование торфа, то после дождливого лета из-за нехватки торфа в котле часто сжигается много древесной щепы. Статистика учитывает такие котлы, как котлы на торфе или древесине в соответствии с тем, какого топлива за год в этом котле было использовано больше. Поэтому один и тот же котел в статистике может за определенный год учитываться как котел, сжигающий торф, а за другой год как сжигающий древесину.

На основе статистических данных (см. Таблица 8.1) можно отметить несколько интересных тенденций. Например, количество котлов на биотопливе особенно быстро увеличилось в начале периода массового перевода котлов на древесину и торф, затем снизилось и позднее начало снова медленно расти. Общее число котлов достигло максимума (1080 шт.) к 1995 г. В то же время средняя мощность котла несколько изменилась (см. Рис. 8.1), хотя и в относительно малых пределах, на уровне 1 МВт.

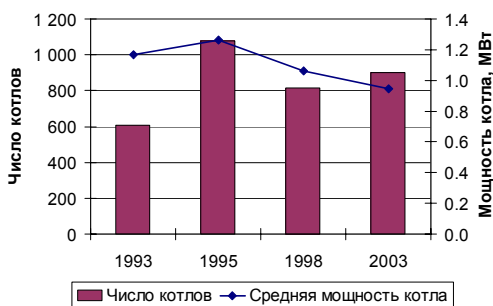


Рис. 8.1. Изменение количества и средней мощности котлов на биотопливе и торфе

В отличие от количества и суммарной мощности котлов выработка тепла, начиная с 1993 г. росла постоянно (см. Рис. 8.2). Отсюда следует, что нагрузка котлов постоянно увеличивалась. Для подтверждения этого на основе статистических данных (см. Таблица 8.1)

был построен график изменения расчетной продолжительности эксплуатации котлов (см. Рис. 8.3). Как уже пояснено выше, более длительная эксплуатация котлов экономически более выгодна.

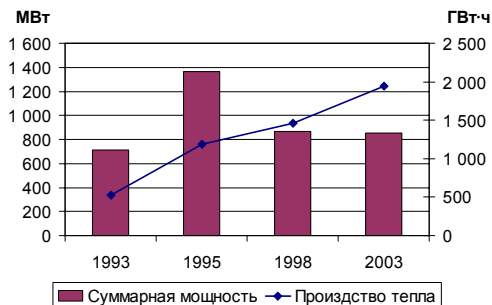


Рис. 8.2. Развитие суммарной мощности и выработки тепла котлов на древесине и торфе

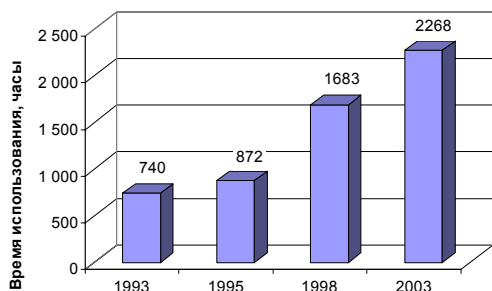
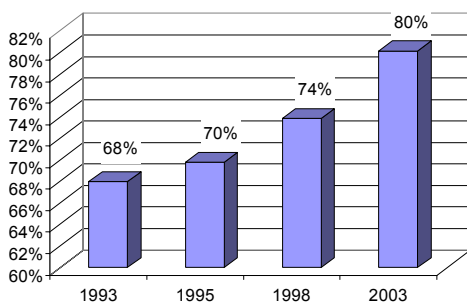


Рис. 8.3. Изменение расчетной продолжительности эксплуатации котлов на древесине и торфе

На основе статистических данных (см. Таблица 8.1) можно также рассчитать среднегодовые к.п.д. (см. Рис. 8.4). Значения рассчитанных коэффициентов можно сравнить с результатами многолетних испытаний, проведенных институтом теплотехники Таллиннского технического университета, которые показывают, что фактически измеренный к.п.д. большинства котлов на биотопливе при оптимальных режимах горения достигает 85 – 87%.





*Рис. 8.4. Средний коэффициент полезного действия котлов на древесине и торфе, рассчитанный на основе статистических данных*

Необходимо отметить, что зачастую количество и энергосодержание топлива в котельных определяется упрощенно, к тому же на некоторых котлах отсутствуют тепломеры, и энергосодержание топлива и выработанное количество тепла определяются расчетным путем. Хотя точность расчета к.п.д., на основе статистических данных не так велика, статистика ряда лет наглядно показывает рост эффективности оборудования и позволяет считать достоверным повышение к.п.д. до уровня 80% в 2003 г.

Как показывает резкое снижение количества котлов после 1995 г., многие проекты по внедрению биотоплива оказались неудачными. В число типичных причин вывода котлов из эксплуатации чаще всего входили такие серьезные ошибки планирования, строительства и эксплуатации, как:

- не удалось поставлять топливо в необходимом количестве и требуемого качества, запасами топлива начали заниматься слишком поздно, из-за отсутствия топлива котел остановили;
- неправильный выбор мощности котла; при выборе мощности исходили из гораздо большего теплопотребления в прошлом, и при реальных, существенно меньших нагрузках решение оказалось нерациональным;

- использовалась примитивная, очень дешевая технология, которая не была надежной и не оправдала ожидания;
- недостаточное умение персонала, иногда отсутствие желания и мотивации для изучения нового оборудования;
- более низкая цена (как оказалось временно) и большее удобство использования конкурирующих топлив (природный газ, сланцевое масло).

В середине 90-х г. прошлого века многие предприятия теплоснабжения маленьких поселков из-за прессинга взятых кредитов и неумения управлять обанкротились. Свою роль сыграли также ошибки планирования и строительства. Например, если для сжигания древесины или кускового торфа была установлена предтопка, спроектированная для жаротрубного котла на газе, то очистка труб от золы становилась крайне хлопотной и длительной.

Долговечность первых предтопок, изготовленных в Эстонии, была низкой, обмуровка разрушалась, элементы решетки быстро сгорали и т.д. Во многих котельных не обращали должного внимания на качество топлива. Были случаи, когда в топке для сжигания короткопламенного каменного угля пытались сжигать сырые, длиной около двух метров, толстые чурки. Такие ошибки и неприемлемость топлив причинили серьезный вред репутации использования древесного топлива.

Уменьшение количества котлов и закрытие котельных можно частично отнести и за счет социальных перемен. Из-за быстрого развала сельского хозяйства проживающие в деревнях люди потеряли работу и доход, проживающие в многоэтажных домах рабочие бывших сельскохозяйственных предприятий (колхозов, совхозов) не могли оплачивать счета за тепло и горячую воду. Из-за неоплаченных счетов в хронических долгах оказались

предприятия теплоснабжения, которые, в свою очередь, не имели возможность выплачивать взятые кредиты и запасаться топливом. Жители начали устанавливать в дома или даже в отдельные квартиры свои отопительные источники, что еще больше ухудшило экономическое состояние производителей тепла, так как число потребителей центрального отопления снизилось, и цена на тепло оставшимся потребителям неизбежно возросла. Подобные события в тепловом хозяйстве произошли во всех странах Балтии примерно в одно и то же время.

В начале нового тысячелетия промежуточный спад был преодолен, и число котлов на древесине и торфе и их суммарная мощность снова стали расти. Росту популярности древесного топлива и торфа благоприятствовало повышение цен на ископаемые топлива и электричество, к тому же увеличились возможности получения инвестиционных поддержек. Для финансирования перехода на биотопливо можно использовать, например, так называемые проекты совместного осуществления, в рамках которых не справляющиеся с уменьшением выбросов CO<sub>2</sub> промышленные страны (например, Финляндия, Дания и др.) помогают финансировать проекты снижения эмиссии парниковых газов в других странах, в том числе в Эстонии.

Экономическую выгоду от использования древесных отходов в качестве топлива явно показывает то, что большинство деревообрабатывающих предприятий построили собственные котельные, работающие на своих отходах, при этом выработанное тепло используется для сушки древесины.

## 8.2. Примеры успешных проектов внедрения биотоплива

При планировании внедрения биотоплива в странах Балтии и в северо-запад-

ной части России принимали за основу три основные технические решения:

- переоборудование существующих угольных котлов для сжигания древесины или торфа;
- реконструкция работающих на ископаемом топливе котлов для сжигания древесины или торфа;
- установка новых комплексных котлов на биотопливе вместо котлов на ископаемом топливе или строительство новой отдельной котельной, работающей на биотопливе.

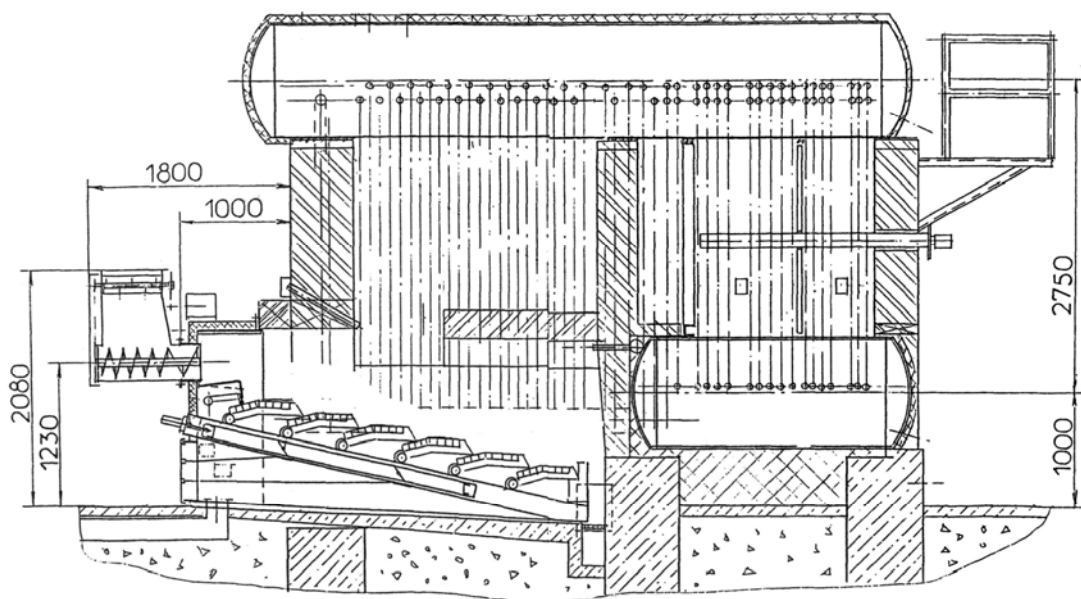
В период скачкообразного роста цен на топливо во многих угольных котлах было опробовано сжигание местных более дешевых топлив. Как правило, это было неудачное решение. При сжигании богатых летучими и влажными древесиной или торфа в топках угольных котлов температура в топке оказывалась низкой, и теплопотери, связанные с недожогом, резко увеличивались. Вдобавок к большим теплопотерям от недожога и низкому к.п.д. имело место загрязнение поверхностей нагрева и дымовой трубы.

Если в угольных котлах при сжигании угля можно достичь удовлетворительных результатов умелым управлением процессом горения, то сжигание в них биотоплива успеха не принесло нигде.

Реконструкция работающих на ископаемом топливе котлов на биотопливо возможна по двум вариантам:

- установка в топку решетки, подходящей для сжигания биотоплива;
- строительство отдельного предтопка.

Установка решетки в топку возможна только в случае вместительной топочной камеры. Это решение широко используется на российских котлах ДКВР (см. Рис. 8.5).



*Рис. 8.5. Решетка для сжигания древесной щепы и фрезерного торфа, установленная на котле типа ДКВР-4-13, работающем ранее на мазуте*

Из рисунка ясно, что часть решетки выступает из топки котла. В данном разделе некоторые проекты с таким техническим решением подробнее рассматриваются в п. 8.2.4 и 8.2.5.

Предтопок можно построить практически перед любым котлом. При этом есть возможность использования стандартных решений предтопок и нет необходимости в большой реконструкции самого котла. Для последующего сжигания летучих, выходящих из предтопка, используется, в основном, существующая топка, необходима только подача дополнительного (вторичного) воздуха. Варианты с предтопком рассмотрены также в п. 8.2.2 и 8.2.3.

При реконструкции существующих котлов важно, чтобы техническое состояние котла позволяло достаточно долго эксплуатировать его на биотопливе. При реконструкции старого котла может случиться так, что котел амортизируется раньше, чем пристраиваемая к нему

предтопка или встраиваемая решетка. Поэтому логично, что до середины 90-х г. XX века реконструкция существующих котлов была очень популярна, а позднее оказалось, что выгоднее котел заменить и построить новый, укомплектованный специально для сжигания биотоплива.

При строительстве новых котлов на биотопливе местные фирмы обычно предпочитают устанавливать новое оборудование вместо старого котла в существующую котельную. В этом случае можно достичь значительной экономии расходов по сравнению со строительством новой котельной, где экономия расходов достигается благодаря использованию нестандартных решений. Местные представители известных иностранных фирм обычно предпочитают строительство новой котельной, так как это позволяет лучше использовать комплексные решения, разработанные на основе многолетнего опыта.

При подготовке данных о переводе котлов на биотопливо на первом этапе путем рассылки опросных анкет была собрана информация по двадцати аналогичным проектам. На основе полученных ответов для более основательного рассмотрения было отобрано десять, в которых мощность котлов составляла 4 – 8 МВт. В пяти выбранных проектах была произведена реконструкция существующих котлов на фоссильном топливе, в остальных пяти проектах были установлены новые комплексные котельные установки. Затем отобранные объекты посетили, ознакомились с оборудованием, побеседовали с управляющим персоналом котельных, операторами котлов, персоналом, обслуживающим другое оборудование, в некоторых случаях - с поставщиками топлива.

Благодаря отзывчивости персонала в большинстве случаев была возможность ознакомиться с технической документацией оборудования, использовать эксплуатационные данные предыдущих лет, а также сфотографировать оборудование.

Далее рассмотрим некоторые успешные проекты перехода на биотопливо, которые были осуществлены в период 1993 - 2003 гг. Наиболее длительный опыт эксплуатации достигает 12 лет (см. п. 8.2.1), а самые новые котлы из рассмотренных проектов проработали как минимум один год (см. п. 8.2.8 и 8.2.9).

Опыт эксплуатации перенимался из наблюдений персонала котельных и ответов на анкеты. Конечно, персонал вспоминает прежде всего сложности и проблемы, при решении которых они приобрели опыт. Поэтому не стоит рассматривать перечень ошибок и проблем как ряд неудач. Все рассмотренные проекты внедрения биотоплива были успешными, и работники котельных очень довольны и счастливы, что на основе местных возобновляемых источников энергии могут производить более дешевое тепло, чем раньше, в случае фоссильных топлив.

Ниже вкратце представлены наблюдения, проведенные в период разработки проектов и строительства объектов.

### 8.2.1. Котельная *Tehnika* в г. Тюри

Основные данные по проекту внедрения биотоплива:

Год начала проекта: 1993.

Котельная:

котельная *Tehnika* (AS Terme) в г. Тюри.

Поставщик оборудования:

*Vølund Energy Systems A/S*, Дания.

Котельная установка:

4 МВт комплексная котельная установка *Danstoker*, предтопок с неохлаждаемой наклонной решеткой, водогрейный котел с вертикальными дымогарными трубами.

Топливо:

древесная щепа, отходы рубки и деревообработки, кора, опилки, кусковой торф влажностью 35 – 55 %.

Топливный склад:

закрытый склад, оборудованный автоматическим грейфером.

Оборудование топливоподачи:

подача топлива из промежуточного бункера в току осуществляется гидравлическим толкателем.

Оборудование очистки, золоудаления и

прочее оборудование:

сухое золоудаление, шнековые транспортеры, мультициклон в котельной, старая кирпичная дымовая труба.

Котел мощностью 4 МВт, установленный в котельную *Tehnika* в г. Тюри был первым котлом на биотопливе нового поколения в Эстонии. Это был первый большой международный проект после возрождения независимости Эстонии, в котором было достигнуто стабильное теплоснабжение в сети центрального отопления небольшого города.

Изначально датское правительство планировало оказать Эстонии денежную помощь для покупки импортируемого мазута. Поскольку в Эстонии энергетический кризис был кратковременным, датское правительство решило использовать выделенные деньги для строительства котельной, работающей на местном топливе. От принятия решения до сдачи котельной в эксплуатацию прошло около 7 месяцев.

#### Котельная установка

Комплексную котельную установку *Danstoker* установили в котельную, ранее работавшую на мазуте. Поскольку высота котельной установки вместе с вертикальными дымогарными трубами была больше высоты самой котельной, крыша была удалена на время монтажа и поднята выше (см. Рис. 8.6).

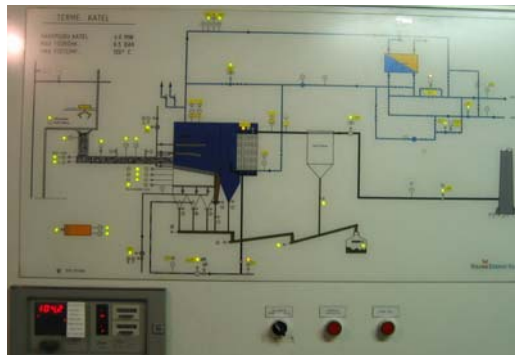


*Рис. 8.6. Монтаж комплексной котельной установки в котельной Tehnika (фото В. Варес)*

Датская фирма использовала хорошо опробованные технические решения. Для предотвращения опасности взрыва, возможного вследствие неправильного использования оборудования, на котел

был установлен электронный датчик контроля факела<sup>15</sup>.

Представленная на щите управления схема (см. Рис. 8.7) дает общее представление о котле, вспомогательном оборудовании и местах установки измерительных датчиков.



*Рис. 8.7. Щит управления котла на биотопливе в котельной Tehnika (фото Ю. Касък)*

Для наблюдения за топочными процессами котел снабжен достаточным количеством глазков. Это позволило персоналу следить за происходящим на решетке и в топке и управлять работой котла. Было замечено, что за несколько рабочих дней поверхность арки в районе решетки покрывается большим количеством золы. Зона горения топлива устанавливается более-менее в центральной части решетки, где торцы колосников решетки оплавляются. Каждый год колосники решетки переставляются так, чтобы колосники со следами температурных повреждений находились в местах с меньшей нагрузкой, а неповрежденные колосники - в центре, где тепловая нагрузка больше. Благодаря такой перестановке замене подлежали лишь единичные колосники.

<sup>15</sup> В Латвии, в топке аналогичного котла во время эксплуатации произошел взрыв по причине ошибочного пуска вентилятора первичного воздуха после того, как погас факел в топке.

Интересные наблюдения операторы сделали во время пуска котла. Номинальная нагрузка достигается в два раза медленнее с решеткой, покрытой золой, чем в случае чистой решетки, а именно за 8 ч вместо обычных 3 – 4 ч. В случае некачественного топлива (прежде всего слишком мелкофракционного или загрязненного грунтом) происходит забивание отверстий решетки, через которые в слой поступает воздух. При сжигании отходов сноса и клееной древесины зола спекалась на поверхности арки и образовывала прочные отложения в конвективной части котла (см. Рис. 8.8), для их очистки применялся т.н. термошок.



*Рис. 8.8. Прочные золовые отложения на арке (фото Ю. Касък)*

После 8 лет эксплуатации возникла необходимость в ремонте обмуровки топки, в ходе которого определенная часть старой обмуровки была удалена и установлена новая. Чугунные пластины, находящиеся по краям решетки в верхней холодной зоне, сильно износились и были заменены пластинами с нижней зоны.

Летом, при низкой нагрузке в сети центрального отопления, в конвективной части котла достигается температура точки росы. После постоянной эксплуатации в течение почти 15 лет считается необходимым провести основательный контроль металла труб конвективных

поверхностей нагрева. Очистка данных труб изнутри раньше проводилась щетками, однако, эффективность этого способа снизилась и теперь используется очистка фрезой, при этом после каждой очистки наблюдается удаление оксидного слоя.

Есть основание считать, что предохранить дымогарные трубы от чрезмерного загрязнения можно было бы применением других методов очистки, например, периодической акустической очисткой, которая не требует остановки котла. При этом не возникают толстые слои золовых отложений и не происходят постоянные разрушения защитного оксидного слоя, как при фрезеровке или очистке щетками.

Система управления котельной безотказно проработала довольно длительное время. В 2005 г. вышел из строя компьютер управления, но его удалось запустить снова с помощью запасной программы.

#### Оборудование топливоподачи

Серьезные технические проблемы с оборудованием топливоподачи не возникали. Оборудование удовлетворяет требованиям и хорошо выдерживает нагрузки.

#### Топливный склад и складское оборудование

Топливный склад (см. Рис. 8.9 и Рис. 8.10) устроен таким образом, что заполнение склада топливом и другие операции по перемещению топлива осуществляются грейфером.

Грейфер на топливном складе работает автоматически (в системе координат, комплексно изготовленной в Дании). Оборудование чувствительно к составу топлива и местами довольно капризное. Если в топливо попали длинные куски (обрезки досок), кран может выключиться. Специалисты усовершенствовали систему. Канаты грейфера каждые полгода заменяются и смазываются тефлоновой смазкой, что дает наилучшие результаты. Зимой у стенок склада



топливо замерзает на глубину до 30 см. Так как у стенок топливо не захватывается, в этих местах возможно появление грибов.



Рис. 8.9. Топливный склад котельной Tehnika (фото Ю. Касък)



Рис. 8.10. Топливо равномерно распределяется автоматическим грейфером (фото Ю. Касък)

### Топливо

В последнее время на предприятии появилась серьезная проблема качества топлива и регулярности поставок. Объем закрытого склада в случае полной нагрузки котла позволяет снабжать котел топливом менее трех суток.

До сих пор на котле использовалось топливо с разными свойствами, при этом для того, чтобы влажность топлива

была в рекомендуемых пределах (35 – 55%), приходилось смешивать топлива с разной влажностью, например, мокрая древесная кора смешивалась с сухими обрезками шпона. Получаемая влажность колебалась в пределах 15 – 65%.

Для приготовления древесного топлива в котельной используется молотковая дробилка. Измельченное топливо (см. Рис. 8.11) подается в топку гидравлическим скребковым толкателем, при этом скребки захватывают нижний слой топлива и подают его на решетку. Вследствие относительно низкого удельного веса размельченного топлива захват топлива скребками происходит в недостаточном количестве (высота проема для подачи топлива 10 см, высота скребка 5 см).



Рис. 8.11. Древесная щепа, измельченная молотковой дробилкой (фото Ю. Касък)

В котле *Danstoker* в качестве резервного топлива возможно использование торфа. В другой котельной предприятия (котельная *Vabriku*, см. п. 8.2.5) это невозможно, так как минеральная часть золы торфа реагирует с материалом обмуровки топки и разрушает ее.

### Оборудование для очистки дымовых газов, золоудаления и удаления сажи; дымовые трубы

Крайне важным мероприятием считается очистка мультициклона (очистка осуществляется при помощи электродрели



с щеткой). При использовании мелкофракционного топлива происходит забивание 12 миллиметровых отверстий (зазоров) мультициклона. Тления золы в оборудовании золоудаления практически не происходит за исключением случаев неправильного режима горения: например, недостаточное количество воздуха, неправильное соотношение первичного и вторичного воздуха, неточное регулирование объема воздуха, необходимого для горения, из-за колебания качества топлива.

Для предотвращения вибрации радиальные подшипники транспортера золы были заменены радиально-аксиальными.

Удаленная зола используется для удобрения земли близлежащих хуторов.

Ранее построенная для мазутных котлов дымовая труба местами разрушилась (см. Рис. 8.12) и нуждается в ремонте. Последние 5 – 6 лет зимой, в холодное время, на трубе образуются ледяные сосульки. Конденсирующаяся из уходящих газов влага просачивается между кирпичами трубы наружу и замерзает. Дымовая труба спроектирована для котельных мощностью около 25 МВт, сжигающих жидкое топливо, хотя на сегодняшний день мощность котельной редко превышает 4 – 5 МВт.



Рис. 8.12. Разрушение основания дымовой трубы (фото Ю. Каськ)

## 8.2.2. Котельная *Aardla* в г. Тарту

Основные данные по проекту внедрения биотоплива:

Год начала проекта: 1994.

Котельная:

котельная *Aardla* в г. Тарту (*AS Eraküte*).

Поставщик оборудования:

*KMW Energi AB*, Швеция.

Котельная установка:

работающий с 1988 г. на фосфорном топливе паровой котел типа ДКВР, был снабжен предтопкой фирмы *KMW Energi* с неохлаждаемой механической колосниковой решеткой типа *TRF*. Расчетная мощность котельной после реконструкции составляет 6 МВт.

Топливо:

древесная щепа, отходы рубки и деревообработки, кора и опилки влажностью 35 – 55 %.

Топливный склад:

закрытый склад, состоящий из двух частей, одна из которых оборудована штанговым толкателем, грейфером и трактором.

Оборудование топливоподачи:

скребковые транспортеры, подача топлива в предтопок распределительным шнеком.

Оборудование очистки, золоудаления и прочее оборудование:

акустические обдувочные аппараты, сухое золоудаление шнековыми транспортерами, мультициклон вне котельной, старая кирпичная дымовая труба.

Проект перевода котельной Аардла на биотопливо финансировался со стороны Швеции в рамках шведской программы “Природосберегающие энергосистемы в странах Балтии и Восточной Европы”, разработанной организацией *NUTEK*. В рамках данной программы Швеция

отдельно финансировала деятельность консультантов проекта.

### Котельная установка

К существующему мазутному котлу была пристроена предтопка для сжигания биотоплива. В течение ~11 лет эксплуатации были отмечены следующие проблемы: низкая долговечность обмуровки предтопка, спекание золы и шлакование решетки в предтопке, загрязнение поверхностей нагрева (в том числе экономайзера и воздухоподогревателя), трудности с очисткой поверхностей нагрева и с регулированием подачи воздуха и топлива, эрозия и коррозия металла поверхностей нагрева и т.д.

Основная проблема предтопка – низкая долговечность решетки. Изначально установленные решетки проработали 4 года, и за это время лишь 4 колосника было заменено. Через 5 лет после пуска предтопка (1999 г.) решетка была заменена практически целиком. Сегодня используются колосники (см. Рис. 8.13), изготовленные на заводе *Valumehaanika* в Тарту, так как стоимость оригинальных колосников почти в 6 раз выше. Поэтому при использовании оригинальных колосников необходимо учитывать дополнительные расходы, в среднем 50 000 крон в год. Чугунные колосники, изготовленные в Тарту, не содержат хрома, их качество, к сожалению, крайне неоднородное, и каждое лето необходима их замена (Рис. 8.14 и Рис. 8.15).



*Рис. 8.13. Новые колосники, изготовленные на заводе в Тарту (фото Ю. Касък)*



*Рис. 8.14. Колосник, отработавший 1 год (фото Ю. Касък)*

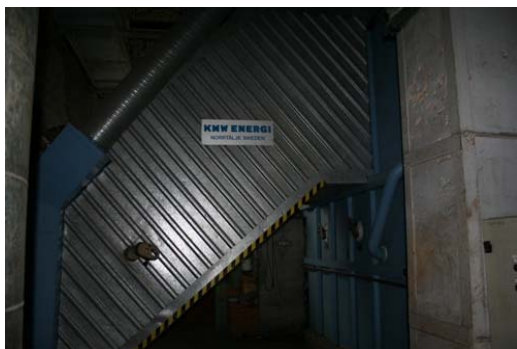


*Рис. 8.15. Колосник с прогоревшим торцом (фото Ю. Касък)*

Каждый год в малом объеме производится ремонт обмуровки предтопка. Серьезный случай произошел в январе 1995 г., когда после 3,5 лет эксплуата-

ции обрушился потолок газохода, соединяющего предтопок с котлом (см. Рис. 8.16).

Расчеты *KMW Energi AB* показали, что общая выходная мощность котла после реконструкции должна составлять 6,0 МВт. Для достижения данной мощности температуру газов в предтопке подняли до 1200°C, что материал обмуровки не выдерживал. К тому же летучая зола начинала плавиться в газоходе и способствовать шлакованию поверхностей нагрева (аналогичная проблема встречалась в Курессааре, см. п. 8.2.6).



*Рис. 8.16. Газоход, соединяющий предтопку с котлом (фото Ю. Каськ)*

Во избежание таких проблем в дальнейшем специалисты изменили технологию сжигания. Были добавлены каналы третичного воздуха, подача которого осуществлялась вентилятором вторичного воздуха в газоход перед котлом (см. Рис. 8.16).



*Рис. 8.17. Канал третичного воздуха (фото Ю. Каськ)*

В результате реновации в топке котла возник непрерывный факел, и мощность котла увеличилась до 7,0 МВт. Поскольку процесс горения не заканчивается в предтопке, и часть образующегося газа (летучие) догорает в топке котла, обмуровка и решетка предтопка служат дольше (температура в районе решетки более низкая). Также предотвращается шлакование газохода, так как температура в предтопке не поднимается выше 1000°C.

В 2004 г. были добавлены вентилятор третичного воздуха и датчик CO. Необходимость этих дополнений была обусловлена быстрым изменением качества топлива, особенно влажности. В случае сухого топлива приходилось уменьшать подачу вторичного воздуха и увеличивать долю третичного воздуха, в то время как подача обоих потоков осуществлялась одним вентилятором. Теперь отрегулировать оптимальный

режим горения и достичь максимального к.п.д. гораздо проще. Раньше сухое топливо не сгорало до конца на решетке, и возникали потери, как от механического, так и химического недожога. С 2005 г. процесс горения регулируется автоматически, используя сигнал датчика СО (раньше регулирование проводилось вручную).

Однажды произошел аварийный останов котла из-за внешней коррозии всех экранов фронтальной стены. Для предотвращения коррозии температура воды на входе в котел поддерживается теперь не ниже 70 °С, раньше было 55 °С. После годичной эксплуатации был проведен контроль, в ходе которого коррозионных повреждений больше обнаружено не было.

В 2004 г. была увеличена поверхность нагрева экономайзера, благодаря чему при сжигании качественного топлива мощность котла увеличилась до 9 МВт.

#### Оборудование топливного склада и топливоподдачи; проблемы с топливом

Для хранения топлива был построен закрытый склад, состоящий из двух частей, одна из которых снабжена штанговым толкателем. Загрузка осуществляется грейфером (см. Рис. 8.18) и трактором. Строительству транспортера топлива со склада в котельную помешали трубопроводы центрального отопления (см. Рис. 8.19), изоляция которых была обновлена после реконструкции котельной.



*Рис. 8.18. Погрузка топлива грейфером на складе котельной Aardla (фото Ю. Каськ)*



*Рис. 8.19. Трубопроводы, препятствующие строительству транспортера топлива в котельную (фото Ю. Каськ)*

Самой большой технологической проблемой является нестабильное качество топлива и наличие в топливе инородных тел (см. Рис. 8.20).





Рис. 8.20. Удаленные из топлива камни  
(фото Ю. Каськ)

Далее приводятся примеры различных топлив, которые может получать предприятие. В течение ряда лет предприятие получало древесное топливо различного вида и гранулометрического состава – древесную щепу, опилки, кору, остатки фанерного шпона и различного вида стружку. Объем оборудованного мостовым краном и автоматическим грейфером топливного склада составляет  $140+90 \text{ м}^3$  (два отсека, каждый из которых со своим штанговым толкателем). Если в один день на склад завозится 2 воза древесной щепы влажностью 50%, один воз остатков шпона влажностью 26% и один воз коры влажностью 60%, то котел регулируется на работу с топливом суммарной влажностью 46,5%. Если на следующий день завозится один воз древесной щепы влажностью 55% и один 35%, и вместо коры два воза остатков шпона влажностью 26%, то теперь оператор должен перенастроить котел на сжигание топлива суммарной влажностью 35,5%.

Такая переналадка котла происходит после прибытия каждого последующего воза топлива. Приемщик топлива, который отвечает за подготовку и перемешивание топлив, заранее не знает, что прибудет следующим возом. Таким образом получается, что котел работает в оптимальном режиме очень недолго, в результате средний к.п.д. выработки тепла снижается.

### Оборудование очистки дымовых газов, золоудаления и удаления сажи, дымовые трубы

Для удаления отложений с конвективных поверхностей нагрева котла в 1998 г. было установлено оборудование акустической очистки, которое работает удовлетворительно. В экономайзере очистка производится обдувочными аппаратами сжатого воздуха, которые раньше использовались и в конвективном газоходе.

При работе на максимальной нагрузке каждые 4 месяца котел необходимо останавливать и производить очистку топки и поверхностей нагрева механически, на что уходит максимум 5 дней.

Корпусы шнековых транспортеров золоудаления были заменены уже после года эксплуатации (1995 г.), при этом значительно увеличили их диаметры и улучшили дизайн. Оригинальные транспортеры оказались неподходящими к условиям котельной Аардла, после установки новых корпусов один раз пришлось заменить подшипники транспортеров.

Установленный для очистки дымовых газов мультициклон работает без отказов. Начиная с 1994 г., кирпичная дымовая труба два раза была в ремонте, но в ее замене необходимости все-таки нет.

### **8.2.3. Котельная Vörusoo в г. Выру**

Основные данные по проекту внедрения биотоплива:

Год начала проекта: 1994.

Котельная:

котельная Vörusoo в г. Выру (AS Vöru Soojus).

Поставщик оборудования:

Jämforsen Energy Systems AB,  
Швеция.

### Котельная установка:

работающий с 1988 г. на ископаемом топливе паровой котел типа ДЕ-25-14 был оборудован предтопком фирмы *Järnforsen* с неохлаждаемой подвижной решеткой. В ходе реконструкции котла была установлена мазутная горелка для покрытия пиковых нагрузок. Расчетная мощность после реконструкции при сжигании древесной щепы 7 МВт, мазута 4,5 МВт и суммарная мощность 7+4,5 МВт.

### Топливо:

древесная щепа, отходы рубки и деревообработки, кора и опилки влажностью 35 – 55 %.

### Топливный склад:

закрытый склад, состоящий из двух частей, одна из которых оборудована штанговым толкателем, загрузка топлива осуществляется грейфером и трактором.

### Оборудование топливоподдачи:

скребковые транспортеры, топливо подается в предтопку гидравлическим толкателем.

### Оборудование очистки, золоудаления и прочее оборудование:

сухое золоудаление шнековым транспортером, мультициклон вне котельной, старая кирпичная дымовая труба.

Проект перевода котельной *Võrusoo* на биотопливо также финансировался шведским государством в рамках программы внедрения природосберегающих технологий в странах Балтии и Восточной Европы, разработанной организацией *NUTEK*.

### Котельная установка

Серия паровых котлов типа ДЕ была разработана в России для замены морально устаревшей серии котлов типа ДКВР. Производство котлов типа ДЕ началось в 80-х годах прошлого века. Производительность котла типа ДЕ-25-14 составляла 25 т/ч, давление пара - 14

бар. В топке котла данного типа места для установки решетки недостаточно, поэтому изначально котел предназначался для сжигания только газообразного и жидкого топлива. Для перевода такого котла на биотопливо необходима установка отдельного предтопка (см. Рис. 8.21 и Рис. 8.22).



Рис. 8.21. Котлы типа ДЕ в котельной *Võrusoo*, вид с тыла (фото Ю. Каськ)



Рис. 8.22. Предтопок, установленная в котельную *Võrusoo* (фото Ю. Каськ)

Первая попытка перевода котла типа ДЕ на биотопливо была осуществлена в Литве (г. Биржай), также в рамках программы, разработанной организацией *NUTEK*. В начале 1994 г. котел типа ДЕ-15-14 был снабжен предтопком, проект оказался успешным.

При переводе котла типа ДЕ на биотопливо целесообразно уменьшить тепловую нагрузку поверхностей нагрева. Необходимо также учитывать, что удаление золовых отложений с конвективных поверхностей нагрева котлов данного типа является достаточно хлопотным мероприятием.

В котельной *Võrusoo* были установлены три аналогичных котла типа ДЕ-25-14. Когда тепловая нагрузка потребителей резко снизилась, суммарная мощность котельной превысила необходимую примерно в 3 раза. В данной ситуации эксплуатация оставшихся в резерве мазутных котлов в качестве пиковых стала очень хлопотной. В сложившейся ситуации для покрытия пиковой нагрузки было две возможности:

- установить дополнительный пиковый котел необходимой мощности на жидком топливе или
- реконструировать переводимый на биотопливо котел таким образом, чтобы на нем было возможно установить мазутную горелку.

Консультанты шведской консультационной фирмы *ÅF Energikonsult Syd* рекомендовали использовать второе решение, и на котел была установлена мазутная горелка в 4,5 МВт, которую пускали параллельно с предтопком (см. Рис. 8.23) во время пиковых нагрузок. К сожалению персонал котельной не смог внедрить эту идею в полной мере.

В ходе испытаний дополнительной горелки технических неполадок и более интенсивного загрязнения поверхностей нагрева замечено не было. При дальнейшей эксплуатации выяснилось, что при сжигании более дешевого сланцевого масла, свойства которого отличаются от свойств мазута, на поверхностях нагрева образовались прочные золовые отложения. Отложения были настолько прочными, что их невозможно было удалить паровой обдувкой, и персонал от использования дополнительной горелки отказался.



*Рис. 8.23. Место установки дополнительной мазутной горелки (фото Ю. Каськ)*

В первый год эксплуатации после реконструкции котла у персонала были трудности с наладкой режимов горения и определением правильного соотношения первичного и вторичного воздуха, однако со временем необходимые навыки были приобретены.

При сжигании преимущественно древесной коры появились проблемы шлакования как топки, так и поверхностей нагрева котла. В предтопке образовались большие прочные отложения, которые пришлось удалять пневматическим отбойным молотком. Поверхности нагрева при сжигании коры покрывались сыпучими отложениями, а иногда даже стекловидным слоем шлака, удалить который без повреждения металла труб очень сложно. Повреждения обмуровки, обусловленные шлакованием при сжигании коры, замечены также и в других котельных Эстонии.

#### Оборудование топливоподачи

Подача топлива в предтопок из промежуточного бункера осуществляется гидравлическим толкателем. Существенных технических проблем с этим оборудованием не возникало. Несущественные проблемы возникали в случае смерзшегося топлива или нестандартных размеров кусков топлива.



### Топливный склад и оборудование склада

Для топлива был построен закрытый склад из двух частей, одна из которых оборудована движущимся штанговым толкателем (см Рис. 8.24), при этом погрузка топлива осуществляется трактором.

В первое время после реконструкции котельной для погрузки топлива использовался маленький трактор, мощность которого была недостаточной. Из-за перегрузки трактор нуждался в частом ремонте. С приобретением более мощного трактора проблема исчезла.



*Рис. 8.24. Часть топливного склада котельной Vöbrisoo с движущимся штанговым толкателем (фото Ю. Каськ)*

### Топливо

Самыми большими проблемами предприятия в последние годы были качество топлива и регулярность поставок. Поскольку на территории котельной нет открытого склада, а объем закрытого склада позволяет снабжать котел топливом в случае полной загрузки менее трех суток, то возникали случаи, когда нагрузка работающего на древесине котла снижалась из-за нехватки топлива.

На качество топлива влияет и то, что в качестве промежуточных складов поставщики топлива используют

неасфальтированные площади, где топливо загрязняется как природным грунтом (почва, песок) так и искусственным (гравий, щебень). Зачастую в топливе содержатся куски металла, которые попадают в оборудование топливоподдачи, а иногда даже и в транспортеры золы (см. Рис. 8.25).



*Рис. 8.25. Куски металла, обнаруженные в топливе и золе (фото Ю. Каськ)*

### Оборудование очистки дымовых газов, золоудаления и удаления сажи, дымовые трубы

Дымовые газы котла на биотопливе направляются через мультициклон в существующую кирпичную трубу (см. Рис. 6.7), куда направляются также и дымовые газы мазутных котлов.

Очистка труб поверхностей нагрева конвективной части, находящейся между барабанами котла типа ДЕ является очень длительным и трудоемким процессом. Притензий к работе паровых обдувочных аппаратов для удаления сажи не было, однако большая часть удаленной с поверхностей нагрева золы остается в газоходе, которую время от времени необходимо удалять вручную.

## 8.2.4. Котельная *Männimäe* в г. Вильянди

Основные данные по проекту внедрения биотоплива:

Год начала проекта: 1995.

Котельная:

котельная *Männimäe* в г. Вильянди (AS ESRO).

Поставщик оборудования:

HOTAB, Швеция.

Котельная установка:

работающий ранее на мазуте паровой котел типа ДКВР 10-13, в топку которого установлена колосниковая решетка с движущимися колосниками. Расчетная мощность котла после реконструкции 6,0 МВт.

Топливо:

древесная щепа, отходы рубки и деревообработки, кора и опилки влажностью 35 – 55 %.

Топливный склад:

закрытый склад, состоящий из двух частей, одна из которых снабжена штанговым толкателем, погрузка топлива осуществляется трактором, возможность увлажнения топлива.

Оборудование топливоподдачи:

скребковый транспортер, подача топлива из промежуточного бункера в топку гидравлическим толкателем.

Оборудование очистки, золоудаления и прочее оборудование:

акустические обдувочные аппараты в конвективной части котла, сухое золоудаление шнековым транспортером, мультициклон в котельной, старая кирпичная дымовая труба.

Проект перевода котельной *Männimäe* в Вильянди на биотопливо – очередной проект, осуществленный при финансовой поддержке со стороны Швеции в рамках программы внедрения природосберегающих технологий в странах

Балтии и Восточной Европы. Большинство рассмотренных котельных в период внедрения биотоплива являлось муниципальной собственностью<sup>16</sup>, AS ESRO – одно из первых частных предприятий центрального отопления в Эстонии.

Котельная установка

Топочная камера у котлов типа ДКВР достаточно вместительная, что позволяет установить решетку в топку (см. Рис. 8.26).



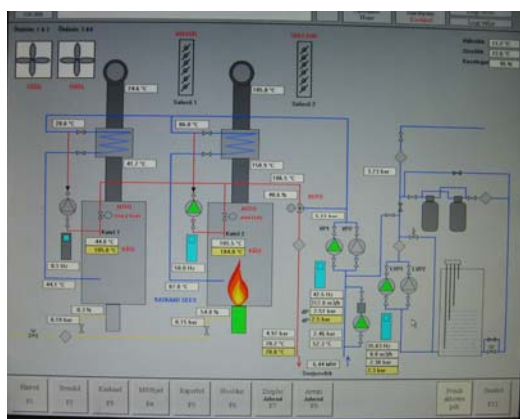
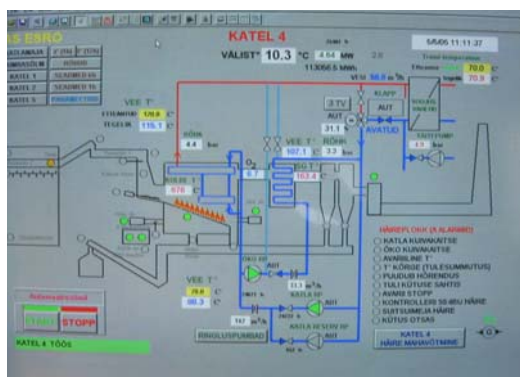
Рис. 8.26. Фронт реконструированного котла типа ДКВР (фото Ю. Касък)

После перевода на биотопливо котел работал как паровой. В 2002 г. котел был реконструирован и стал работать водогрейным котлом, что повысило мощность на 2 МВт. При сжигании качественного топлива котел развивал мощность до 8 МВт.

Работа котла на биотопливе и работа всей котельной управляется при помощи компьютера (см. Рис. 8.27), при этом на экране можно следить за многими

<sup>16</sup> В настоящее время все эстонские предприятия центрального теплоснабжения являются действующими согласно одним и тем же законам акционерными предприятиями, акции которых могут принадлежать как местному самоуправлению, так и местным или иностранным инвесторам.

рабочими параметрами котельной и параметрами подающей и обратной воды теплосети.



*Рис. 8.27. Компьютер управления работой котла на биотопливе и всей котельной (фото Ю. Касък)*

Как и в котельной *Aardla* в котельной *Männimäe* используются изготовленные на заводе в Тарту колосники, торцы которых также быстро сгорают (см. Рис. 8.15).

Качество топлива постоянно оказывало сильное влияние на работу топки. Для улучшения условий сжигания влажного топлива в верхней части решетки (зона сушки топлива) была построена арка. К сожалению это решение существенно не стабилизировало работу топки. Зачастую температура в топке падает и топливо горит на решетке неравномерно, точнее на одном краю решетки топливо сгорает

быстрее, чем на другом, и часть решетки может остаться без топлива. Это и является основной причиной быстрого повреждения колосников решетки. На проблему наладки топочных процессов указывает и то, что не удается постоянно удерживать содержание угарного газа за котлом ниже допустимого уровня (1000 ppm).

Состояние решетки ухудшается также вследствие размягчения или спекания золы на решетке, вызванных сжиганием слишком сухого или загрязненного минеральными включениями топлива. В качестве топлива котельная использует сухие отходы деревообработки, которые необходимо смешивать с влажным топливом или специально увлажнять. К сожалению, не удается достичь равномерного распределения влажности топлива ни его увлажнением, ни смешением топлив с достаточно равномерным распределением влажности. В конце отопительного периода, весной, колосники решетки уже достаточно серьезно повреждены, и из-за перебоев с горением несгоревшие тлеющие частички могут пройти через циклон, где наблюдается тление золы.

Каждые 2 – 3 месяца котел необходимо останавливать для очистки от золы и отложений. В течение всего периода использования древесного топлива (~10 лет) не было необходимости в замене труб поверхностей нагрева котла, а вот топочную арку пришлось строить заново. Новая арка, по сравнению с предыдущей, построена с меньшим радиусом. На некотором удалении от решетки произошел обвал обмуровки в топку, а в районе решетки обмуровка сильно износилась.

### Оборудование топливоподачи

Серьезных технических проблем с оборудованием топливоподачи не возникало. Состояние оборудования отвечает требованиям и хорошо сохранилось. Цепи транспортера топлива отработали около 9 лет, после чего были

заменены новыми, но не из-за повреждений, а из-за растягивания.

### Топливный склад и оборудование склада

Двухдневный запас топлива хранится на закрытом складе, который оборудован штанговым толкателем, загрузка осуществляется трактором (см. Рис. 8.28). Поскольку вблизи котельной находится завод по изготовлению деревянных дверей и окон, то для использования поставляемого с завода сухого топлива (влажностью около 20%) в топке, предусмотренной для сжигания влажного топлива, на складе создана возможность увлажнения топлива.



*Рис. 8.28. Погрузка топлива на складе котельной Männitmäe (фото Ю. Каськ)*

Гидравлические цилиндры штангового толкателя проработали около 6 – 7 лет без ремонта. Теперь сварные соединения всех гидравлических цилиндров 2-3 раза отремонтированы. Был также случай поломки залитой в бетон опоры гидроцилиндра (см. Рис. 8.29).



*Рис. 8.29. Приваренный торец гидравлического цилиндра (фото Ю. Каськ)*

В первые годы эксплуатации в некоторых местах произошла поломка крепежных скребков штангового толкателя, к тому же скребки изнашивались и приняли округлую форму, хотя и перемещали опилки и кору. Поэтому крепление скребков пришлось усилить, а к передней части самих скребков приварить металлические пластины. Если в топливе присутствовали остатки шпона и длинные куски коры, то такое топливо попадало на скребковый транспортер, перемещающий топливо со склада в бункер неравномерно.

### Топливо

Одной из главных проблем предприятия в последние годы является качество и нерегулярная поставка топлива. На территории котельной нет открытого склада, а объем закрытого склада позволяет снабжать котел топливом в случае полной нагрузки менее трех суток.

Влажность поставляемого топлива колеблется в пределах 20 – 65%. Проблемы появляются при влажности топлива, превышающей 50%.

Летом, когда потребляемая нагрузка лишь 1,5 – 2,5 МВт, зачастую сжигаются только опилки и древесная кора. Зимой при использовании этого топлива номинальная нагрузка котла не достигается, и в мультициклон попадают тлеющие,



до конца несгоревшие частички. Аналогичная проблема наблюдается в котельных Хаапсалу и Кейла (см. п. 8.2.7 и 8.2.8).

В 2004 г. в котельную *Männimäe* завезли топливо из осины влажностью 45 – 48%. При сжигании этого топлива было невозможно регулировать процесс горения в топке, и на решетке пламя местами гасло. Этот опыт показал, что влажность топлива из осины должна быть меньше влажности топлив из других видов древесины, при этом смешение топлив из осины и других видов древесины может также привести к плохим результатам.

#### Оборудование для очистки газов, золоудаления и удаления сажи; дымовые трубы

Для очистки поверхностей нагрева котла применяются две установки акустической очистки. Создаваемый установками шум для персонала котельной опасности не представляет. При сжигании сухого топлива акустическая очистка показывает удовлетворительные результаты, однако при постоянном сжигании влажного топлива от акустической очистки пользы нет и, конвективные поверхности нагрева котла быстро загрязняются. В 2004 г. в экономайзере впервые обнаружили затвердевшие комки золы, которые пришлось удалять механически (вырубать). Ни установок акустической очистки, ни каких либо обдувочных аппаратов для удаления сажи в экономайзере не установлено.

В 2005 г. был произведен ремонт дымовой трубы, и были заменены ее металлические конструкции.

### **8.2.5. Котельная *Vabriku* в г. Тюри**

Основные данные по проекту внедрения биотоплива:

Год начала проекта: 1998.

#### Котельная:

котельная *Vabriku* в г. Тюри (*OÜ Terme*).

#### Поставщик оборудования:

*AS Tamult*, Эстония; *Saxlund*, Швеция.

#### Котельная установка:

работающий с 1988 г. на мазуте водогрейный котел типа ДКВР 10-13, в топку которого установлена колосниковая решетка с движущимися колосниками. Расчетная мощность котла после реконструкции 4,0 МВт.

#### Топливо:

древесная щепа, отходы рубки и деревообработки, кора, опилки, кусковой торф влажностью 35 – 55%.

#### Топливный склад:

закрытый склад, оборудованный автоматическим грейфером.

#### Оборудование топливоподачи:

скребковые транспортеры, подача топлива из промежуточного бункера в топку гидравлическим толкателем.

#### Оборудование очистки, золоудаления и прочее оборудование:

сухое золоудаление шнековым транспортером, мультициклон в котельной, старая кирпичная дымовая труба.

Проект перевода котельной на биотопливо – очередной проект, финансирующийся Швецией в рамках программы “Природосберегающие энергосистемы в странах Балтии и Восточной Европы”. Для владельца котельной (*AS Terme*) это был уже второй подобный проект. Использование биотоплива в котельной *Tehnika* (см. п. 8.2.1) этого же предприятия оказалось экономически выгодно, и на основе полученного опыта было решено осуществить то же самое и в котельной *Vabriku* в Тюри (см. Рис. 8.30).

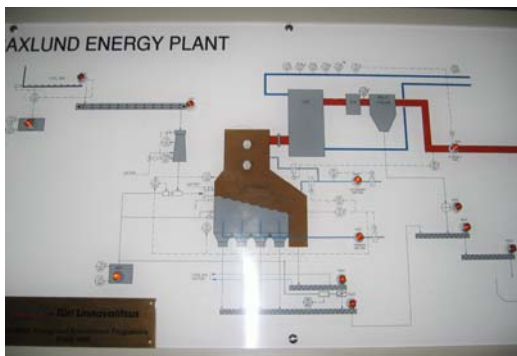


Рис. 8.30. Плакат с технологической схемой котельной *Vabriku* (фото Ю. Касък)

### Котельная установка

В котельной отказались от новой комплексной установки и решили реконструировать находящийся в хорошем техническом состоянии существующий котел типа ДКВР (см. также п. 8.2.4 и Рис. 8.5).

При реконструкции в котел была установлена решетка шведской фирмы *Saxlund*, использование которой оправдано в некоторых котельных Эстонии, в том числе в котельной поставщика оборудования и главного предприятия проекта *AS Tamult*.

У *OÜ Terme* была хорошая возможность сравнить работу на биотопливе двух своих котлов с различными техническими решениями. Температура в топке котла ДКВР в котельной *Vabriku* выше, чем в топке котла *Vølund* (см. п. 8.2.1), что позволяет сжигать отходы и пни, но при этом происходит более интенсивное шлакование решетки.

В начале конвективного газохода котла ДКВР на трубах возникают прочные золотые отложения. Такая же проблема была обнаружена на ранее реконструированном котле типа ДКВР в котельной *Männimäe* в Вильянди (см. п. 8.2.4).

Сразу после реконструкции выйти на проектную мощность котла не удалось (была достигнута лишь примерно половина проектной мощности). Только

когда очень извилистые и с большим сопротивлением каналы воздуха были заменены новыми, удалось достичь номинальной нагрузки в 4 МВт.

Был случай, когда из-за перебоев с электричеством произошел останов котла, котел перегрелся и вышли из строя датчики температуры, которые пришлось заменить, хотя в общем случае при внезапном останове котел все-таки не нагревается до такой степени, что за счет остаточной теплоты топки и обмуровки вода закипала бы, а давление поднималось до опасного уровня.

### Оборудование топливоподачи

Серьезных технических проблем с оборудованием топливоподачи не возникало. Оборудование отвечает требованиям котла, и сохранилось в хорошем состоянии.

### Топливный склад и складское оборудование

На оборудованном штанговым толкателем топливном складе и при подачи топлива на скребковый транспортер особых неполадок не было. Оборудование склада способно снабжать котел топливом в достаточной мере при любых нагрузках котла. Загрузка топлива на штанговый толкатель производится специально для этого оборудованным трактором (см. Рис. 8.31).

### Топливо

Как в котельной *OÜ Terme Tehnika*, так и в котельной *Vabriku* существуют проблемы качества и поставок топлива, хотя оборудование котельной *Vabriku* не так чувствительно к качеству топлива. Попытки сжигания торфа не были достаточно успешными, и поэтому длительное использование торфа в качестве резервного топлива пришлось исключить.



Рис. 8.31. Трактор для подачи топлива  
(фото Ю. Касък)

Оборудование для очистки дымовых газов, золоудаления и удаления сажи; дымовые трубы

Шнековый транспортер для удаления падающей с решетки золы был изготовлен из слишком тонких листов металла, и через пару лет эксплуатации его пришлось заменить. Перед заменой во избежание поломки транспортера были сделаны специальные отверстия для удаления кусков шлака и механических включений, но этого оказалось недостаточно, и новый транспортер был изготовлен из более толстого и более прочного листового металла. Для сравнения можно привести шнековый транспортер в котельной *Tehnika* (см. 8.2.1), который работает в аналогичных условиях уже 14 лет.

Спроектированная для очистки поверхностей нагрева газо-импульсная установка так и не была установлена, и очистка до сих пор осуществляется механически.

Изначально на котле была предусмотрена подача третичного воздуха в топку, но от этого пришлось отказаться, так как третичный воздух не улучшил режим горения и увеличил содержание кислорода в экономайзере.

Температура уходящих дымовых газов в течение всего года остается на уровне 170 °С, что исключает конденсацию

водяного пара и намокание дымовой трубы.

## 8.2.6. Котельная *Kalev* в г. Курессааре

Основные данные по проекту внедрения биотоплива:

Год начала проекта:

I этап 1998,  
II этап 2002.

Котельная:

котельная *Kalev* в г. Курессааре (*AS Kuressaare Soojus*).

Поставщик оборудования:

I этап – *Saxlund*, Швеция  
II этап – *Tamult*, Эстония.

Котельная установка:

I этап – был установлен датский котел *Danstoker* мощностью 5 МВт, оборудованный предтопком с колосниковой решеткой, было также установлено оборудование для конденсации водяного пара из дымовых газов

II этап – котел типа ДКВР 10-13, работающий с 1983 г. на мазуте и реконструированный в водогрейный котел был оборудован колосниковой решеткой с движущимися колосниками, расчетная мощность реконструированного котла 6,0 МВт.

Топливо:

древесная щепа, отходы рубки и деревообработки, кора, опилки, кусковой торф влажностью 35-55%.

Топливный склад:

открытый с одного торца крытый склад, в одной части - штанговый толкатель, погрузка топлива производится механическим грейфером и трактором, также используется большой открытый склад.

Оборудование топливоподачи:

топливоподача со склада общая для обоих котлов – скребковые транспортеры, подача топлива из промежуточного бункера в топку гидравлическим толкателем.



### Оборудование очистки, золоудаления и прочее оборудование:

I этап – акустический обдувочный аппарат, мультициклон в котельной, мокрое золоудаление скребковым транспортером, установленный конденсатор дымовых газов повышает мощность на 5%

II этап – сухое золоудаление шнековым и скребковым транспортерами, старая кирпичная дымовая труба (общая для обоих котлов), в 2005 г. устанавливают новый конденсатор дымовых газов (общий для обоих котлов).

В одной и той же котельной с разницей в 5 лет были пущены 2 котла на биотопливе. На первом этапе (1998 г.) проект финансировался кредитом со стороны Швеции в рамках программы “Природосберегающие энергосистемы в странах Балтии и Восточной Европы”.

Поскольку первый этап перевода котельной на биотопливо оказался успешным, а часть базовой нагрузки приходилось покрывать за счет недешевого мазута, было решено реконструировать второй котел при финансировании за счет коммерческого кредита.

Построенных на первом этапе топливных складов и производительности оборудования топливоподачи оказалось достаточно для обслуживания еще и второго котла на биотопливе. Поскольку на основе работы первого котла в плане было и решение о целесообразности строительства второго котла на биотопливе, то в течение первого года эксплуатации первого котла технический руководитель предприятия очень внимательно регистрировал все обнаруженные недостатки и неполадки. Далее приводится их обобщенный обзор.

По причине отсутствия топлива в мае 1998 г. был произведен останов котла. Время простоя котла было использовано для проведения сварочных работ и осмотра оборудования. Было обнару-

жено несколько трещин в обмуровке топки, утечки через подшипники смесителя системы мокрого шлакоудаления и изгиб металлической балки желоба золы, находящегося в конце решетки.

**В сентябре 1998 г.** самопроизвольно произошло ослабление затяжки болтов толкателя топлива, при устранении которого были добавлены пружинные шайбы. При очистке транспортера топлива появились проблемы, которые не решены до сих пор. При очистке приходилось пускать транспортер в обратном направлении, а сделать это можно было только поворачивая крыльчатку охлаждения двигателя привода.

**В октябре 1998 г.** в топке были обнаружены обильно спекшаяся зола и повреждения обмуровки.

**В ноябре 1998 г.** был необходим ремонт поплавка системы жидкого шлакоудаления. Вышедшие из строя шиберы регулирования подачи первичного воздуха были заменены на шиберы другого типа.

**В декабре 1998 г.** во время контроля не сработал защитный клапан.

**В январе 1999 г.** был обнаружен подъем решетки, для его избежания были установлены направляющие рейки. Разрыхлитель топлива (вращающийся вал с лопатками, с помощью которого происходит равномерное распределение топлива при подаче на транспортер) сместился в осевом направлении, так как отсутствовал фиксатор.

**В феврале 1999 г.** металлические поперечные пластины скребков штангового толкателя на топливном складе отломились от направляющей штанги в местах сварных соединений.

**В марте 1999 г.** снова возникли проблемы на топливном складе: произошел разрыв сварных соединений крепления основания гидравлического цилиндра. Примерно в это же время произошло разрушение подшипников смесителя системы золоудаления, которое было обусловлено тем, что не

сработал защитный выключатель шнекового транспортера. Поскольку леса для обслуживания гамма-датчика и датчика давления изначально отсутствовали, они были построены за счет собственных средств предприятия.

#### Котельная установка

По сравнению со всеми предыдущими проектами на первом этапе реконструкции котельной *Kalevi* было сделано одно существенное техническое дополнение - было установлено оборудование для конденсации водяного пара из дымовых газов (т.н. конденсатор дымовых газов), которое увеличивало выходную мощность котла на 5%.

В предтопке и котле, построенных на первом этапе, отсутствует возможность автоматического регулирования режимов горения, что упростило бы сжигание биотоплив разного качества (состав, влажность, гранулометрический состав). Поначалу отсутствовала также система рециркуляции дымовых газов, которая годом позже была сооружена собственными силами. Как уже пояснено выше, с помощью рециркуляции дымовых газов можно регулировать температуру топлива и выходящих из топки газов, и, следовательно, избегать перегрева обмуровки. В цилиндрической горизонтальной части топки из-за случая длительной работы при высокой температуре произошел обвал обмуровки. Корректно отслеживать температуру в данной области, к сожалению, не было возможности, так как датчик температуры был установлен неверно (проектная ошибка).

В 2004 г., после 6 лет эксплуатации выяснилось, что толщина стенки труб котла *Danstoker* в районе входа воды местами менее 1 мм, трубы приплюснулись, и возникли утечки воды. Вероятно, смешение возвратной воды из теплосети и котловой воды не было отрегулировано, и температура воды на входе в котел оставалась низкой, что вызвало низкотемпературную кислотную

коррозию металла труб со стороны дымовых газов, обусловленную снижением их температуры ниже точки росы. Частая очистка труб щетками каждый раз разрушает возникающий со стороны дымовых газов оксидный слой и тем самым укорачивает ресурс труб. Одной из причин износа труб могла быть и эрозия металла содержащимися в золе минеральными частицами.

На втором этапе в ходе реконструкции котла типа ДКВР над решеткой была построена арка из шамотного кирпича. Несмотря на это в реконструированном котле ДКВР не удается сжигать такое влажное топливо, которое можно использовать в неохлаждаемой предтопке котла *Danstoker*. Время от времени на котле ДКВР заменяются некоторые трубы, что необходимо будет осуществлять и в будущем.

Некоторые элементы решеток, как предтопки котла *Danstoker*, так и котла ДКВР пришлось заменить, к тому же месторасположение элементов решетки на обоих котлах изменилось. Некоторые элементы решетки были отремонтированы при помощи наплавки металла.

#### Оборудование топливоподачи

После пуска котла *Danstoker* на первом этапе, в течение первого года эксплуатации были устранены недостатки, появившиеся в работе оборудования топливоподачи. Например, находящиеся перед котлом шнековые питатели подачи топлива были заменены на гидравлический толкатель. До сих пор не решены проблемы очистки скребкового транспортера и ликвидации завалов топлива, которые впервые появились уже в сентябре 1998 г.

В 2002 г. при переводе находившегося рядом котла типа ДКВР тоже на биотопливо к существующей системе топливоподачи был добавлен дополнительный горизонтальный скребковый транспортер, который подавал топливо в находящийся перед этим котлом бункер. Позднее на котле были проведены испытания по сжиганию

камыша, и выяснилось, что при большой длине стеблей камыша топливо не попадает на транспортер в достаточной мере, аналогичная проблема возникает и в случае смеси древесной щепы с камышом. Таким образом, камыш нуждается в измельчении до кусков длиной 7 – 10 см, что, вероятно, обеспечит нормальную подачу топлива.

#### Топливный склад и оборудование склада

После устранения появившихся в течение первого года эксплуатации котла ошибок и недостатков серьезных проблем при эксплуатации оборудования топливного склада не возникало. После 7 лет эксплуатации на складе износился бетонированный пол под штанговым толкателем. К скребкам толкателя приварены дополнительные поперечные рейки, и время от времени перевариваются крепления самих скребков. Очень много проблем возникало с обслуживанием и ремонтом грейфера (см. Рис. 8.32). Грейфер был заказан на одном эстонском предприятии, и только благодаря постоянному обслуживанию и ремонту проработал 5 лет. Хотя изначально топливный склад и оборудование склада были спроектированы для обслуживания котла мощностью 5 МВт, позднее они смогли снабжать также и два котла вместе суммарной мощностью 10 – 11 МВт.



*Рис. 8.32. Мостовой кран с грейфером (фото Ю. Каськ)*

#### Топливо

Качество. На открытом складе котельной зимой в топливе иногда много снега. Зачастую снег попадает в топливо во время транспортировки и погрузки топлива с промежуточных складов. Часто влажность топлива даже превышает 55%. Это случается в период частого выпадения осадков или таяния снега, а иногда высокая влажность топлива обусловлена составом топлива (много щепы из тонких веток и/или много иголок, коры). Если в топливе много еловой коры нарушается подача топлива со склада на скребковый транспортер и транспортировка его в котел, так как длинные ленты коры наматываются на распределитель топлива, и последний не выполняет свою функцию (не распределяет слой топлива равномерно на транспортер на складе). Топливо любого вида должно быть измельчено до размера, предусмотренного в проекте.

Во-вторых, проблемы качества топлива связаны с загрязнением топлива грунтом (почва и песок), зачастую в топливе находятся также крупные механические включения (металл и камни).

На открытом топливном складе случалось самовоспламенение древесного топлива, богатого мокрой корой. Как показал опыт нескольких лет работы, в течение 3 – 4 месяцев теплотворная способность топлива, уложенного в большие копны (5 – 6 м), может уменьшиться более, чем на 50%. Одной зимой предприятие запаслось большим количеством древесной коры, которую сложили на открытом складе. В отопительный период выяснилось, что при ее использовании удельный расход топлива увеличился почти на 50%. Биотопливо (особенно с влажностью более 50%) нельзя складывать в большие копны, и копну необходимо время от времени перемешивать для достижения равномерной влажности.

Поставка топлива. Теплой зимой (когда земля не замерзла) лесная техника не может добраться до лесосеки, и использование передвижных измельчителей древесины в лесу не представляется возможным. Единственная возможность - измельчать стволы деревьев на складских площадях. Без своих измельчителей у предприятия еще больше была бы нарушена поставка топлива, так как Курессааре находится на острове, и часть топлива завозится на грузовиках с материка. Бывали случаи, когда топливо с материка не привозилось в течение нескольких дней. В зимний сезон из-за незамерзшей почвы доставка древесного топлива очень затруднена по всей Эстонии или даже во всех странах Балтии одновременно.

Оборудование очистки дымовых газов, золоудаления и удаления сажи, дымовые трубы

Несмотря на использование на котле *Danstoker* акустической очистки, по истечении каждых двух месяцев одну часть дымогарных труб необходимо дополнительно очищать вручную при помощи щеток. Очистка труб конвективных поверхностей нагрева котла ДКВР со стороны дымовых газов осуществляется только два раза в год. Очистка является длительным и трудоемким процессом, так как летучая зола и сажа осаждаются между плотными пучками труб, куда доступ крайне затруднен. Шлакования поверхностей нагрева замечено не было.

Существующие кирпичные дымовые трубы длительное время использовались для отводов дымовых газов при сжигании топлив, богатых серой (мазут, сланцевое масло). Сейчас они используются как на котлах, работающих на биотопливе, так и на пиковых котлах на жидком топливе, в результате чего происходит разрушение труб. В случае сжигания влажного биотоплива в трубе возникает точка росы, присутствующий в дымовых газах водяной пар конденсируется и реагирует с соединениями

серы, отложившимися там ранее. Образующаяся серная кислота разлагает дымовую трубу (следы разложения могут быть как на внутренней, так и на внешней поверхности трубы).

Разрушению дымовых труб способствуют также и климатические условия. Например, сконденсировавшаяся на внутренней поверхности трубы влага просачивается между кирпичей, и при сильном морозе там замерзает (следы разрушения видны на внешней поверхности трубы).

После года эксплуатации шнековый транспортер золоудаления котла типа ДКВР было необходимо заменить из-за износа, что подтверждает высокое содержание минеральных включений в золе. Шнековый транспортер было решено заменить на скребковый, который проработал гораздо дольше. Сухая зола в конечном итоге направляется в ванну, наполненную водой, для избежания ее распыления.

### 8.2.7. Котельная в г. Хаапсалу

Основные данные по проекту внедрения биотоплива:

Год начала проекта: 2003.

Котельная:  
котельная в г. Хаапсалу (*AS Eraküte*).

Поставщик оборудования:  
*Saxlund*, Швеция и *AS Tamult*, Эстония.

Котельная установка:  
предтопок с неохлаждаемой механической колосниковой решеткой и котел *Danstoker* мощностью 7 МВт.

Топливо:  
древесная щепа, отходы рубки и деревообработки, кора, опилки влажностью 35-55%.

#### Топливный склад:

закрытый склад, состоящий из двух частей, одна из которых оборудована гидравлическим штанговым толкателем, погрузка топлива производится трактором, на складе есть возможность увлажнения топлива.

#### Оборудование топливоподачи:

скребковый транспортер, подача топлива в топку шнековым питателем снизу.

#### Оборудование очистки, золоудаления и прочее оборудование:

сухое золоудаление скребковым и шнековым транспортерами, мультициклон в котельной, старая кирпичная дымовая труба.



*Рис. 8.33. Котельная в Хаапсалу после реконструкции (фото Ю. Касък)*

AS Eraküte представляет из себя дочернюю фирму концерна DALKIA, базирующегося на французском капитале. Концерн приобрел ряд предприятий центрального теплоснабжения в Эстонии. Проект перевода котельной в Хаапсалу (Рис. 8.33) на биотопливо финансировался из коммерческого кредита, предоставленного под гарантию головной фирмы DALKIA.

#### Котельная установка

Котельная установка работает безотказно и, в случае использования топлива предусмотренного качества, легко достигает номинальную мощность и позволяет нагружать котел примерно до 110%. Выбор мощности полностью оправдан и соответствует нагрузке теплосети.

При сжигании очень сухих отходов фанеры и мебельной промышленности (влажность около 10 – 15%) в котле возникали проблемы спекания и затвердевания золы. Поскольку котел спроектирован для сжигания топлива с гораздо большей влажностью (30 – 55%), то на скребковый транспортер, подающий топливо со склада, для увлажнения установлена перфорированная водяная труба. Дополнительные расходы, связанные со снижением теплотворной способности топлива из-за его увлажнения, согласно договору покрывает поставщик топлива. Летом, когда средняя нагрузка котла не превышает 2 МВт, возможно использование и сухого неувлажненного топлива (стружка). При сжигании слишком мокрой древесной коры (влажность превышает 55%) достичь номинальную нагрузку котла не представляется возможным.

Со средней нагрузки (3 МВт) котла в Хаапсалу достижение номинальной мощности возможно менее чем за 2 часа, в то время как в котельной г. Кейла (см. п. 8.2.8) с аналогичным техническим решением - за 4 часа. Быстрое увеличение нагрузки котла в Хаапсалу обеспечивает встроенная в топку арка, которая отсутствует на котле в Кейла (в обеих котельных установлено аналогич-

ного типа котельное оборудование одной фирмы).

У решетки котла в Хаапсалу 3 движущихся ступени, в Кейла – только 2. Эта особенность также может быть причиной, позволяющей быстрее отрегулировать нагрузку котла в Хаапсалу и сжигать более влажное топливо.

Как в Курессааре, так и в Хаапсалу для регулирования топочных процессов в котел типа *Danstoker* датчик температуры был установлен изначально в неправильном месте и показывал заниженную температуру. Зарегистрированная специалистами Таллиннского технического университета фактическая температура обмуровки котла в Курессааре достигала почти 1200°C. Вследствие таких высоких температур обмуровка котла оплавилась.

Было бы целесообразно установить на котле и лючки для слежения за накоплением золы на арке. Необходимо также найти оптимальную конфигурацию арки, позволяющую уменьшить осаждение на ней золы.

#### Оборудование топливоподачи

Серьезных технических проблем с оборудованием топливоподачи не возникло. Оборудование отвечает требованиям котла и сохранилось в хорошем состоянии.

#### Топливный склад и оборудование склада

Поскольку территория котельной небольшая, топливный склад также мал и требует частого заполнения. На запасе топлива заполненного склада котел может работать до двух суток, что говорит о важности четкой организации транспорта на складе (см. Рис. 8.34).



*Рис. 8.34. Загрузка топлива на складе котельной в Хаапсалу (фото Ю. Каськ)*

#### Топливо

Как и в других котельных, одной из главных проблем предприятия в последние годы является качество и регулярность поставок топлива. Открытый склад на территории котельной отсутствует, а объем закрытого склада позволяет снабжать работающий на полной мощности котел менее двух суток. Поставщик складировает топливо на открытых площадках вблизи г. Хаапсалу. При транспортировке топлива с этих площадок проблем не возникало.

Больших запасов древесины и крупных деревообрабатывающих предприятий вблизи Хаапсалу к сожалению нет. При доставке топлива издалека постоянно растут расходы на транспорт.

О низком качестве топлива свидетельствует фотография, на которой видны отсеченные из топлива включения (см. Рис. 8.35).





*Рис. 8.35. Примеры удаленных из топлива включений и неизмельченных кусков древесины (фото Ю. Каськ)*

Оборудование для очистки дымовых газов, золоудаления и удаления сажи, дымовые трубы

Если при сжигании не рекомендуемого топлива или смеси топлив не удастся постоянно поддерживать оптимальный режим, несгоревшие частички топлива попадают в мультициклон. При этом металл мультициклона может нагреться до 200°C, и тлеющая зола может попасть даже в транспортер золы. Металлические люки мультициклона и бетонированные каналы транспортера не выдерживают высокие температуры (см. Рис. 8.36).



*Рис. 8.36. Основание мультициклона и бетонированная крышка канала (фото Ю. Каськ)*

С применением акустической очистки поверхностей нагрева водогрейного котла проблем не было, как и жалоб со стороны жителей близлежащих районов относительно возникающего шума.

### 8.2.8. Котельная в г. Кейла

Основные данные по проекту внедрения биотоплива:

Год начала проекта: 2003.

Котельная:  
котельная г. Кейла (AS AO Eraküte).

Поставщик оборудования:  
Saxlund, Швеция и AS Tamult, Эстония.

Котельная установка:  
предтопок с неохлаждаемой механической колосниковой решеткой, водогрейный котел Danstoker мощностью 7 МВт.

Топливо:  
древесная щепа, отходы рубки и деревообработки, кора, опилки, отходы строительства и сноса влажностью 35 – 55 %.

Топливный склад:  
закрытый склад, оборудованный автоматическим грейфером.



#### Оборудование топливоподачи:

скребковый транспортер, ленточный конвейер, шнековый транспортер.

#### Оборудование очистки, золоудаления и прочее оборудование:

мокрое и сухое золоудаление, мультициклон в котельной, старая кирпичная дымовая труба.

Проект внедрения биотоплива в котельной г. Кейла финансировался при помощи коммерческого кредита, предоставленного под гарантию головной фирмы *DALKIA*. Решение о переводе котельной на биотопливо родилось после того, как предыдущий проект *AS Eraküte* в котельной г. Хаапсалу (п. 8.2.7) оказался как технически, так и экономически успешным.

В ходе реконструкции котельной в Кейла все оборудование котельной было заменено, были установлены котел на биотопливе с предтопком (см. Рис. 8.37) вместе с оборудованием склада и резервные котлы на сланцевом масле для покрытия пиковых нагрузок. Здание котельной было реновировано. Позднее пришли к выводу, что было бы целесообразно установить в котельной конденсатор дымовых газов. Это потребовало больших затрат, поскольку изначально места для конденсатора предусмотрено не было.

#### Котельная установка

В случае использования качественного топлива котел работает безотказно и быстро набирает номинальную мощность. При сжигании топлива влажностью менее 45% можно нагрузить котел до 110%. Проблем с регулированием режимов горения не возникало.

Температурный датчик в горизонтальном газоходе между предтопком и котлом изначально был установлен неправильно. Однако после реконструкции датчик стал адекватно регистрировать среднюю температуру газового

потока, которую при регулировании режима горения необходимо поддерживать на уровне 1000°C.



*Рис. 8.37. Предтопок в котельной г. Кейла (фото Ю. Каськ)*

В районе ввода воды в котел у котельных труб были обнаружены серьезные коррозионные повреждения и уменьшение толщины стенки с 4 мм местами до 2 мм. Котлостроительная фирма *Danstoker* рекомендует поддерживать температуру воды на входе в котел на уровне 108°C или выше. При сжигании влажного топлива в районе слишком низкой температуры начинается интенсивная коррозия металла поверхностей нагрева. Поскольку регулирование температуры воды на входе в котел на рекомендуемом фирмой уровне в котельной г. Кейла до сих пор не удается, необходимо поддерживать ее хотя бы на уровне 85 – 90°C.

Температура воды на входе в котел регулируется при помощи насоса, который подмешивает в питательную воду более горячую воду из котла. Возможны две причины слишком низкой температуры питательной воды:

- регулирование температуры воды осуществляется слишком близко к котлу,
- ошибка датчика температуры.

Так как в используемом топливе (древесные отходы) зачастую содержится много минеральных включений, то уменьшению толщины стенки труб могла способствовать также эрозия.

При сжигании сухого топлива (отходы шпона) происходит спекание золы на решетке. Иногда происходит неравномерное распределение слоя топлива по решетке, вследствие чего по краям решетки топливо выгорает быстрее.

#### Оборудование топливоподачи

Серьезных технических проблем с оборудованием топливоподачи не возникло. Производительность оборудования отвечает требованиям.

#### Топливный склад и складское оборудование

Несмотря на то, что предложение и техническую спецификацию составили иностранные консультанты, в фазе проектирования склада некоторые важные параметры остались не определены или их оценка была неточной. Производительность автоматического грейфера была выбрана равной  $80 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а объем  $5 \text{ м}^3$ , однако сейчас этот грейфер заменен на другой, с меньшей производительностью и меньшим объемом ( $2,5 \text{ м}^3$ ). Двигатель грейфера был выбран неверно – после минутной работы его было необходимо охлаждать в течение 5 минут, в итоге двигатель сгорел. Грейфер был изготовлен на эстонском предприятии *AS Eesti Kraanavabrik* (см Рис. 8.38).

Производитель грейфера не признал своей ошибки в полной мере, хотя при работе оборудования возникало много проблем. В 2005 г. однажды не сработала защита от перегрузки и, как следствие, произошел обрыв троса и грейфер упал. Причиной послужило то, что после установки датчика веса специалист завода ошибся при наладке защиты от перегрузки. Недостатком грейфера приходится также считать и то, что захват топлива грейфером в

углах и вблизи стенок склада невозможен (см. Рис. 8.39).



*Рис. 8.38. Мостовой кран с изготовленным в Эстонии грейфером (фото Ю. Касък)*

Использование трактора на складе, углубленном в грунт, является крайне затруднительным и очень дорогим. Верхний неподвижный слой мокрого топлива может самовоспламениться, а также там возможно образование плесневых грибов.



*Рис. 8.39. Застой топлива вблизи стенок (фото Ю. Касък)*

Решение топливного склада с грейфером можно было бы значительно улучшить, если при проектировании были бы учтены местные особенности и выбрано правильное и надежное

оборудование. Очень важным оказалось постоянное и своевременное обслуживание грейфера и другого оборудования склада, что, несмотря на конструктивные недостатки, помогло избежать более серьезных аварий.

#### Топливо

Одной из серьезных проблем предприятия является качество и регулярность поставок топлива. Открытый склад на территории котельной отсутствует, а объем закрытого склада позволяет снабжать работающий на полной мощности котел менее трех суток.

При опытном сжигании в котле отходов строительства и сноса зданий возникли проблемы шлакования решетки и обмуровки, образовались прочные отложения (см. Рис. 8.40) возникли проблемы эрозии и загрязнения поверхностей нагрева. Испытания были остановлены, так как решение появившихся проблем стоило дороже, чем экономия от покупки дешевого топлива.



Рис. 8.40. Кусок отложений, удаленный из топки (фото Ю. Касък)

#### Оборудование очистки дымовых газов, золоудаления и удаления сажи, дымовые трубы

Если при сжигании какого-то топлива или смеси топлив не удастся постоянно поддерживать оптимальный режим горения, то несгоревшие частички топлива попадают в мультициклон

(металл мультициклона может нагреться до 200°C (см. Рис. 8.41), и оттуда даже в транспортер золы, где частички догорают до конца.



Рис. 8.41. Мультициклон и транспортер золы (фото Ю. Касък)

#### **8.2.9. Котельная Peetri в г. Пайде**

Основные данные по проекту внедрения биотоплива:

Год начала проекта: 2003.

Котельная:

котельная Peetri в г. Пайде (OÜ Pogi)

Поставщик оборудования:

Wärtsilä OY, Финляндия.

Котельная установка:

предтопка BioGrate с патентованной неохлаждаемой конической решеткой Wärtsilä с нижним воспламенением вместе с водогрейным котлом. Мощность установки 8 МВт.

Топливо:

древесная щепа, отходы рубки и деревообработки, кора, опилки, кусковой торф влажностью 35-55%.

#### Топливный склад:

открытый сбоку промежуточный склад, оборудованный штанговым толкателем, основной склад с толкателем и подогреваемым дном, также используется открытый склад. Погрузка топлива на складах производится трактором.

#### Оборудование топливоподачи:

скребковый транспортер, шнековый питатель.

#### Оборудование очистки, золоудаления и прочее оборудование:

мокрое золоудаление скребковым и шнековым транспортерами, мультициклон, новая металлическая дымовая труба.

Новая котельная на биотопливе в Пайде (см. Рис. 8.42 и Рис. 8.43) является одной из первых котельных в Эстонии, для финансирования строительства которой использовали возможности программы, базирующейся на Киотском протоколе. Согласно этой схеме уменьшение выбросов CO<sub>2</sub> в течение расчетного периода считается сокращением эмиссии парниковых газов в Финляндии. В ответ Финляндия покрывает часть инвестиционных расходов. Все оборудование котельной поставляла финская фирма *Wärtsilä*.

*OÜ Pogi* – частная фирма, которая длительное время арендовала и эксплуатировала принадлежащую городу Пайде котельную *Peetri*. Из-за кратковременности договора об аренде *OÜ Pogi* не смогла стать гарантом кредита, необходимого для реконструкции котельной. Перевод котельной на биотопливо стал возможным благодаря тому, что *OÜ Pogi* купила близлежащий участок земли и построила на нем новую котельную, при этом строящаяся котельная на биотопливе являлась единственным предметом самофинансирования, как гарант необходимого кредита.

Поскольку отпускаемое котельной тепло оказалось значительно дешевле выработанного на базе жидкого топлива, было решено построить оборудование для конденсации водяного пара из дымовых газов, что увеличило бы мощность котла примерно на 2 МВт и увеличило бы долю древесного топлива в теплоснабжении города с нынешних 70 – 76% примерно до 90%. Конденсационная установка должна быть готова в 2005 г.



Рис. 8.42. Работающая на биотопливе котельная *Peetri* в Пайде (фото Ю. Касък)

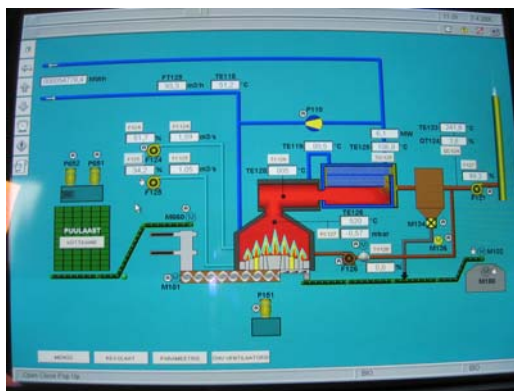


Рис. 8.43. Технологическая схема с рабочими параметрами котельной *Peetri* на экране компьютера управления (фото Ю. Касък)

Период строительства котельной растянулся дольше запланированного и длился более 1,5 лет. Котельная спроектирована для работы без обслуживающего персонала, однако в действительности возникают серьезные проблемы поставки топлива, качество топлива колеблется в больших пределах, поэтому до сих пор есть необходимость в круглосуточном операторе.

#### Котельная установка

Работа всех узлов котла и режимы горения управляются при помощи компьютера, и вмешательство человека в управление необходимо только при ликвидации редких серьезных неполадок. Например, в выходящем из топки газоходе иногда происходит загромождение, обусловленное шлакованием вследствие слишком высоких температур, при этом запускается система пожаротушения. Иногда датчик температуры покрывается золой и система пожаротушения не включается. В нормальном состоянии эта система должна включаться, когда температура в газоходе между топкой и котлом поднимается выше 950°C, а при 1050°C происходит полный останов котла. При использовании топлива более сухого, чем допускается, температура как раз поднимается до этого уровня. Таким образом, использование системы пожаротушения исключает опасности, возникающие при сжигании слишком сухого топлива.

Горизонтально расположенный водогрейный котел необходимо чистить каждые 6-8 недель. Котел напрямую соединен с сетью центрального отопления, однако в будущем планируется отделение его от сети пластинчатым теплообменником, что позволило бы увеличить надежность системы.

В топке возможно успешное сжигание топлив с сильно меняющимся качеством и влажностью, благодаря чему данный тип топки при сжигании такого топлива можно отнести к наилучшему техническому решению.

#### Оборудование топливоподачи

Для транспортировки топлива изначально был выбран транспортер для торфа, при этом он не перемещал должным образом древесную щепу и опилки. После установки частотного преобразователя транспортер работал сравнительно хорошо со всеми видами используемого топлива.

Содержащиеся в топливе камни и куски металла зачастую попадают в шнековый питатель топлива. Питатель снабжен возможностью реверса, что защищает его от поломки. Для удаления находящихся в топливе ненужных включений оборудование топливоподачи приходится кратковременно останавливать.

В заключение стоит отметить, что серьезных технических проблем с оборудованием топливоподачи все-таки не возникало и его производительность отвечает требованиям.

#### Топливный склад и складское оборудование

Открытый сбоку и оборудованный штанговым толкателем промежуточный склад вмещает запас топлива на выходные (2 суток). Погрузка топлива осуществляется транспортерами или трактором-погрузчиком. Оборудование склада способно снабжать котел топливом при любых нагрузках. При номинальной нагрузке котла топлива с основного склада хватает только на одни сутки. Во избежание замерзания топлива дно основного склада отапливается водой, возвращающейся из сети центрального отопления (см. Рис. 5.2). Это решение показало себя с хорошей стороны уже первой зимой. Топливо не застывает в углах склада.

#### Топливо

В котельную поставляется очень разное топливо, начиная с опилок и заканчивая отходами рубки, от нескольких поставщиков в радиусе до 100 км от котельной.

Зачастую в топливе содержатся различные включения неизвестного происхож-



дения, которые при сжигании снижают температуру плавления золы и приводят к шлакованию решетки и стенок топки. Топливо часто загрязнено почвой и песком, что также влияет на топочные процессы и поведение золы. Очистка решетки и топки является длительным и дорогим мероприятием.

Главная проблема как и везде – это постоянно снижающееся качество топлива и рост цены.

Оборудование для очистки дымовых газов, золоудаления и удаления сажи; дымовые трубы

На котле отсутствует оборудование акустической очистки поверхностей нагрева, но в ближайшее время планируется его установка.

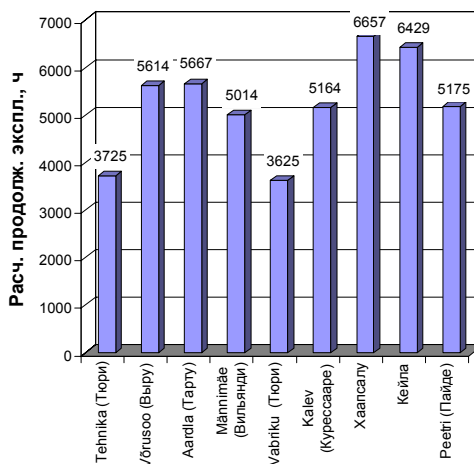
При использовании различного топлива и при любой нагрузке котла топливо успевает полностью сгореть на решетке. Таким образом, несгоревшие частички в мультициклон не попадают, и перегрева ни мультициклона, ни транспортера золы не происходит.

В системе мокрого золоудаления пришлось заменить поврежденные датчики уровня воды, так как при неисправных датчиках нагрузка котла автоматически снижается.

### 8.3. Итоги опыта использования биотоплива в Эстонии

#### 8.3.1. Нагрузка котлов и удельный расход топлива

Как уже было показано выше (см. п. 7.6.1), требующие больших инвестиций котлы на биотопливе для достижения экономической выгоды пришлось максимально нагружать. На диаграмме (см. Рис. 8.44) приведена расчетная продолжительность эксплуатации котлов в 2004 г.



*Рис. 8.44. Расчетная продолжительность эксплуатации котлов на биотопливе в 2004 году*

Очень длительная эксплуатация котлов (в Хаапсалу и Кейла даже свыше 6 000 ч) говорит об отличной и безотказной работе практически в течение всего года. Для сравнения можно привести продолжительность типичного отопительного периода в Эстонии – около 5300 ч. Большая продолжительность эксплуатации гарантирует быструю окупаемость инвестиций.

Очень большая продолжительность эксплуатации рассмотренных котлов на биотопливе была приятным сюрпризом

и для составителей данного Справочника. Достижению таких хороших результатов способствовали следующие факторы:

- высокое летнее теплотребление санаториев и аквапарков, принадлежащих к числу потребителей в Хаапсалу и Кейла позволяет максимально продлить работу котлов на базовой нагрузке;
- котлы на биотопливе успешно используются и в неотапительный период для горячего водоснабжения;
- безотказная работа оборудования в течение длительного времени и уменьшение числа вынужденных остановов;
- стабильное снабжение топливом.

Вдобавок к перечисленным причинам для всех рассмотренных котельных необходимо отметить умелое руководство предприятий и поощрение персонала.

Продолжительность эксплуатации обеих котельных *OÜ Terme* сравнительно маленькая (меньше 4 000 ч в год). Причина этого в том, что потребительская нагрузка г. Тюри снизилась, и часть отопительного периода (осенью и весной) котлы на биотопливе должны работать на частичной нагрузке.

Если сравнить расчетную продолжительность эксплуатации котлов на биотопливе в Эстонии со среднестатистической (см. Рис. 8.3), получим трехкратную разницу. Поэтому у многих предприятий есть причина критически проанализировать свою работу и поучиться на опыте успешно работающих котельных.

На всех рассмотренных котельных подсчет использования топлива ведется по кубометрам принятого топлива. В котельных отсутствует возможность взвешивания прибывших везов топлива, нет лабораторий оперативного определения влажности топлива, поэтому определить энергосодержание прибыв-

шего топлива тоже не представляется возможным.

Удельный расход топлива для выработки 1 МВт·ч тепла при использовании различных видов топлива косвенно отражает качество топлива, так как ожидаемые к.п.д. рассматриваемых котлов, по мнению экспертов, не должны сильно отличаться. Представленные на диаграмме (см. Рис. 8.45) удельные расходы топлива колеблются в пределах 1,4 – 1,9 м<sup>3</sup>/МВт·ч. Если в обеих котельных Тюри и в Курессааре используется топливо качеством выше среднего (удельный расход 1,4, 1,44 и 1,47 м<sup>3</sup>/МВт·ч), то, например, в котельной *Männimäe* используется топливо заметно более низкого энергосодержания и предположительно худшего качества или меньшей плотности.

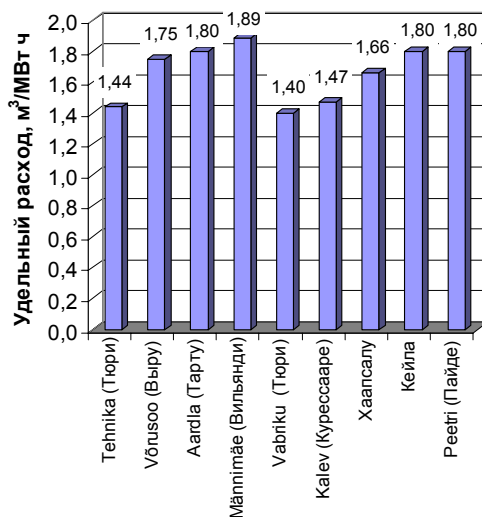


Рис. 8.45. Удельный расход биотоплива в 2004 г.

### 8.3.2. Риски внедрения биотоплива

На основе данных опроса персонала котельных в число факторов, благоприятствующих переводу котлов на биотопливо, входят:



- многолетние традиции и навыки производства энергии на базе древесного топлива;
- наличие природных лесных ресурсов и других биотоплив;
- развитая лесоперерабатывающая и деревообрабатывающая промышленность, что способствует стабильному снабжению топливом;
- незанятая рабочая сила (безработица) в сельской местности;
- увеличивающийся спрос на биотопливо, как топливо, дружелюбное к окружающей среде;
- продолжительный рост цен на ископаемые топлива и повышение экологического налога.

Кроме биотоплива в большинстве котельных также возможно сжигание торфа, что позволяет более гибко реагировать на изменения на рынке топлива. В качестве топлива до сих пор практически не используется солома, к тому же многие пустоши можно было бы пустить под энергетические посадки и сено. Таким образом, нет причин бояться исчерпания ресурсов биотоплива в будущем.

Так как благоприятствующим фактором для использования биотоплива упомянули наличие незанятой рабочей силы, то необходимо отметить, что у таких рабочих зачастую низкая квалификация.

Зачастую в сельской местности отсутствуют предприимчивые люди, которые способны взять кредит и осуществить проекты внедрения биотоплива. Тормозом может оказаться и высокий кредитный прессинг на местные самоуправления, из-за чего они не могут получить кредит.

Риском считаются многие факторы, которые большей частью связаны либо с влиянием рыночной экономики, либо с ограничениями, связанными с загрязнением окружающей среды, например:

- обострение конкуренции на рынке сырья биотоплива;
- потенциальные инвестиции идут в другой сектор, где время их окупаемости меньше;
- рост цен на бензин и дизельное топливо способствует подорожанию производства биотоплива, и в то же время, может быть стимулом производства жидкого биотоплива;
- цены на биотопливо изменяются в том же направлении что и на ископаемые топлива;
- большая потребность внешних рынков в облагороженном биотопливе, что из-за высокого уровня цен поднимает стоимость биотоплива и в странах, его производящих;
- постоянное увеличение расходов на рабочую силу;
- непрерывное ужесточение норм по загрязнению окружающей среды;
- невозможность по политико-экономическим причинам начать проекты по выращиванию энергетических посадок и аграрной биомассы.

Хотя считается, что при использовании биотоплива существует много различных рисков, прежде всего это следствие повышения просвещенности людей и желания предвидеть и учесть все аспекты, связанные с будущим биотоплива, в своих проектах. В настоящее время растет убеждение, что риски при использовании местного возобновляемого биотоплива существенно меньше, чем при использовании ископаемых топлив.

### 8.3.3. Выводы и рекомендации

Анализ опыта 12-летнего использования биотоплива позволяет сделать некоторые выводы и дать рекомендации для дальнейшего использования. При обобщении руководствовались, в основном, материалами проектов в Эстонии, а также некоторых успешных проектов в Латвии, Литве и на северо-западе России.

1. Упрощенные технические решения котельных на биотопливе не обеспечивают стабильную работу и в итоге становятся более дорогими, требующими больших затрат, чем современные, опробованные комплексные технологические решения. Таким образом, какие-либо технические упрощения для уменьшения расходов являются опасными и нежелательными.
2. Перевод ранее работавших на фоссильном топливе котлов на биотопливо может дать удовлетворительный конечный результат. При этом реконструкция требует очень основательных знаний существующих котлов, и для каждой конкретной котельной необходимо разрабатывать индивидуальное решение, что может увеличить расходы до уровня новых комплексных установок. Как правило, реконструированные котлы более чувствительны к колебаниям качества топлива, чем новые комплексные установки. В итоге можно рекомендовать при сопоставимых инвестициях предпочесть новые комплексные решения.
3. Инвестиции при строительстве котельных на биотопливе достаточно велики. Проекты окупают себя тем лучше, чем с большей нагрузкой они работают. Таким образом, эти установки должны работать на базовой нагрузке, а для покрытия пиковых нагрузок необходимо использовать либо существующие, либо новые газомазутные котлы.

4. Качество биотоплив, в том числе влажность, может колебаться в очень больших пределах, в то время как котельная установка, как правило, рассчитана на конкретную влажность и качество топлива. Использование непригодного для котла топлива (даже кратковременное) может привести к серьезным проблемам в работе оборудования, например, шлакованию решетки или поверхностей нагрева, попаданию несгоревших частичек в мультициклон и т.д. По возможности следует избегать использования топлива с нестабильным качеством, хотя решить проблему иногда помогает смешивание топлив и увлажнение сухого топлива.
5. На основе опыта можно утверждать, что наиболее подходящими для сжигания топлива с изменяющимся в широких пределах качеством оказались установки типа Wärtsilä BioGrate и установки, базирующиеся на технологии кипящего слоя.
6. Использование биотоплива предъявляет высокие требования к персоналу котельной, как в плане организации работы, снабжения котельной топливом, так и в плане умений и мотивации операторов и технического персонала котлов. В большинстве случаев персонал котельной склонен переоценивать свои возможности. Поэтому важен как обмен опытом с персоналом других котельных, так и повышение квалификации персонала. Обязанности операторов котла на биотопливе гораздо сложнее, чем у персонала, обслуживающего газомазутные котлы. Таким образом крайне необходимы дополнительная плата и поощрение работников котельной на биотопливе.
7. Если дымовые газы котлов на биотопливе и топливе с высоким содержанием серы отводятся через один и тот же газоход или дымовую трубу, то при сжигании влажного

топлива в газоходе и дымовой трубе зачастую возможно появление опасных коррозионных повреждений. Эти повреждения могут встречаться и на низкотемпературных поверхностях нагрева котлов, ранее работавших на мазуте. Поэтому котел на биотопливе желательно оборудовать отдельной дымовой трубой или отдельным дымоходом. Необходимо также поддерживать на рекомендуемом уровне температуру воды на входе в котел.

8. Как в странах Балтии и Польше, так и в России при финансировании проектов внедрения биотоплива можно получить финансовую поддержку от тех стран, которые не могут иначе выполнить вытекающие из Киотского протокола обязательства по уменьшению эмиссии парниковых газов.

## 9. ПРИЛОЖЕНИЕ

### 9.1. Единицы измерения

Таблица 9.1. Преобразование единиц энергии

	тнэ	МВт·ч	ГДж	Гкал
тнэ	1	11,630	41,868	10,0
МВт·ч	0,08598	1	3,6	0,86
ГДж	0,02388	0,2778	1	0,2388
Гкал	0,1	1,1630	4,1868	1

Таблица 9.2. Кратные единицы

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

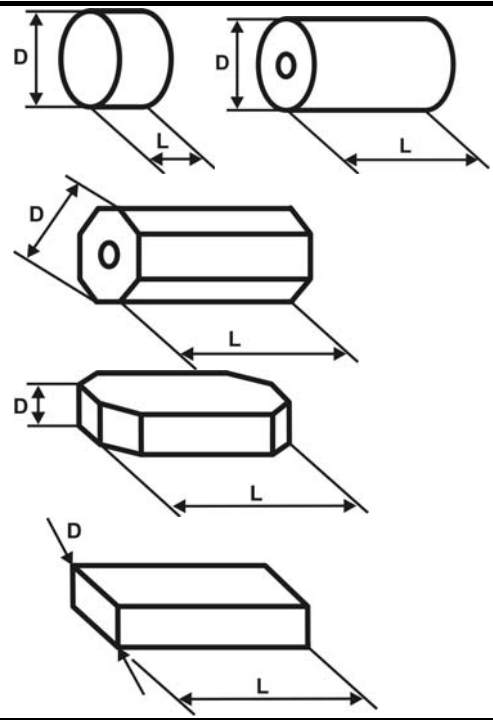
## 9.2. Технические условия и классификация биотоплив и торфяных топлив

Таблица 9.3. Технические условия и классы качества древесной щепы [23]

	Основная таблица			
	Происхождение топлива		Древесная биомасса	
	Продажная форма:		Древесная щепа	
Нормативные	Размеры, мм <sup>a</sup>			
		Основная фракция > 80% по весу	Тонкая фракция < 5%	Грубая фракция max. длина частиц,
	P16	3,15 мм ≤ 16 мм	< 1 мм	max 1% <sup>a</sup> > 45 мм, all < 85 мм
	P45	3,15 мм ≤ 45 мм	< 1 мм	max 1% <sup>a</sup> > 63 мм
	P63	3,15 мм ≤ 63 мм	< 1 мм	max 1% <sup>a</sup> > 100 мм
	P100	3,15 мм ≤ 100 мм	< 1 мм	max 1% <sup>a</sup> > 200 мм
	Влажность (% на рабочую массу)			
	M20	≤ 20%	Сухое	
	M30	≤ 30%	Пригодное для складирования	
	M40	≤ 40%	Ограниченно пригодное для складирования	
	M55	≤ 55%		
	M65	≤ 65%		
	Зольность (% на сухую часть)			
	A0.7	≤ 0,7%		
	A1.5	≤ 1,5%		
	A3.0	≤ 3,0%		
	A6.0	≤ 6,0%		
	A10.0	≤ 10,0%		
	Азот, N (% на сухую часть)			
	N0.5	≤ 0,5%	Азот нормируется только для химически обработанной биомассы	
N1.0	≤ 1,0%			
N3.0	≤ 3,0%			
N3.0+	≤ 3,0% (должна быть приведена реальная величина)			
Информативные	Низшая теплота сгорания на рабочую массу $Q^P_n$ , МДж/кг или энергоёмкость $E^P$ (кВт·ч/м <sup>3</sup> насыпной)		Рекомендуется приводить при розничной торговле	
	Насыпная плотность рабочей массы, (кг/м <sup>3</sup> )		Рекомендуется приводить при продаже в объёмных единицах в категориях (BD200, BD300, BD450)	
	Хлор, Cl (массовый % на сухую часть)		Рекомендуется приводить по категориям Cl0.03, Cl0.07, Cl0.10 и Cl0.10+ (если Cl > 0,1% - приводить реальное содержание)	
<sup>a</sup> Численные значения размеров относятся к размерам частиц, проходящим через упомянутое круглое отверстие сита размером (3,15 мм, 16 мм, 45 мм, 63 мм и 100 мм). Размеры реальных частиц могут отличаться от этих величин, особенно длина частиц.				

Таблица 9.4. Технические условия и классы качества брикетов [23]

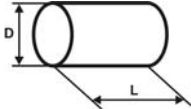
Основная таблица			
Происхождение топлива		Древесная биомасса Травяная биомасса Биотоплива с добавками Торф	
Продажная форма:		Брикет	
Нормативные	Диаметр или эквивалентный размер, мм:		
	D40	$25 \leq D \leq 40$	
	D50	$\leq 50$	
	D60	$\leq 60$	
	D80	$\leq 80$	
	D100	$\leq 100$	
	D125	$\leq 125$	
	D125+	> 125 (приводить реальное значение)	
		Длина (L)	
	L50	$\leq 50$	
	L100	$\leq 100$	
	L200	$\leq 200$	
	L300	$\leq 300$	
	L400	$\leq 400$	
	L400+	> 400 (приводить реальное значение)	
	Влажность (% на рабочую массу)		
	M10	$\leq 10\%$	
	M15	$\leq 15\%$	
	M20	$\leq 20\%$	
	Зольность (массовый % на сухую часть)		
	A0.7	$\leq 0,7\%$	
	A1.5	$\leq 1,5\%$	
	A3.0	$\leq 3,0\%$	
	A6.0	$\leq 6,0\%$	
	A10.0	$\leq 10,0\%$	
	Сера (массовый % на сухую часть)		
	S0.05	$\leq 0,05\%$	Сера нормируется только для химически обработанной биомассы или если используются содержащие серу добавки
S0.08	$\leq 0,08\%$		
S0.10	$\leq 0,10\%$		
S0.20	$\leq 0,20\%$		
S0.20+	> 0,20% (приводить реальное значение)		



	Плотность брикета, кг/дм <sup>3</sup>			
	DE0.8	0,80 – 0,99		
	DE1.0	1,00 – 1,09		
	DE1.1	1,10 – 0,99		
	DE1.2	≥ 1,20		
	Включения (массовый % прессуемой массы)			
	Должны быть приведены тип и содержание добавок при прессовании, замедлителей шлакования и любых других включений			
	Азот, N (массовый % на сухую часть)			
	N0.3	≤ 0,3%	Азот нормируется только для химически обработанной биомассы	
	N0.5	≤ 0,5%		
	N1.0	≤ 1,0%		
N3.0	≤ 3,0%			
N3.0+	> 3,0% (приводить реальное значение)			
Информативные	Низшая теплота сгорания на рабочую массу $Q^P_n$ , МДж/кг или энергоёмкость $E^P$ (кВт·ч/м <sup>3</sup> насыпной)		Рекомендуется приводить при розничной торговле	
	Насыпная плотность рабочей массы, (кг/м <sup>3</sup> )		Рекомендуется приводить при продаже в объёмных единицах в категориях (BD200, BD300, BD450)	
	Хлор, Cl (массовый % на сухую часть)		Рекомендуется приводить по категориям Cl0.03, Cl0.07, Cl0.10 и Cl0.10+ (если Cl > 0,1% - приводить реальное содержание)	



Таблица 9.5. Технические условия и классы качества пеллетов [23]

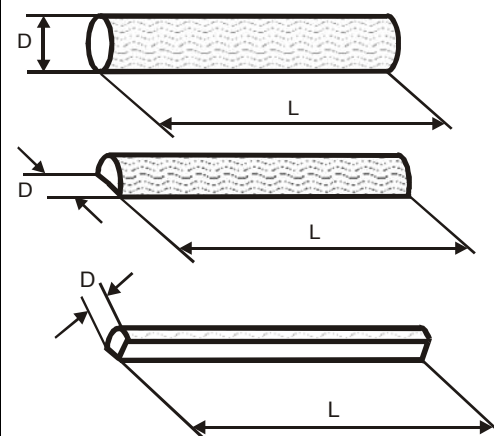
	Основная таблица		
	Происхождение топлива	Древесная биомасса Травянистая биомасса Фруктовая биомасса Смеси Торф	
	Продажная форма:	Пеллеты	
Нормативные	Размеры, мм		
			
	Диаметр (D) и длина (L). Не более 20% пеллетов могут быть длиной 7,5 x диаметр		
	D06	$\leq 6 \text{ мм} \pm 0,5 \text{ мм}$ и $L \leq 5 \times D$	
	D08	$\leq 8 \text{ мм} \pm 0,5 \text{ мм}$ и $L \leq 4 \times D$	
	D10	$\leq 10 \text{ мм} \pm 0,5 \text{ мм}$ и $L \leq 4 \times D$	
	D12	$\leq 12 \text{ мм} \pm 1,0 \text{ мм}$ и $L \leq 4 \times D$	
	D25	$\leq 25 \text{ мм} \pm 1,0 \text{ мм}$ и $L \leq 4 \times D$	
	Влажность (% на рабочую массу)		
	M10	$\leq 10\%$	
	M15	$\leq 15\%$	
	M20	$\leq 20\%$	
	Зольность (массовый % на сухую часть)		
	A0.7	$\leq 0,7\%$	
	A1.5	$\leq 1,5\%$	
	A3.0	$\leq 3,0\%$	
	A6.0	$\leq 6,0\%$	
	A6.0+	$> 6,0\%$ (приводить реальное значение)	
	Сера (массовый % на сухую часть)		Сера нормируется только для химически обработанной биомассы или если используются содержащие серу добавки
	S0.05	$\leq 0,05\%$	
	S0.08	$\leq 0,08\%$	
	S0.10	$\leq 0,10\%$	
	S0.20+	$> 0,20\%$ (приводить реальное значение)	
	Механическая устойчивость (DU) (массовый % после испытания)		
	DU97.5	$\geq 97,5\%$	
	DU95.0	$\geq 95,0\%$	
	DU90.0	$\geq 90,0\%$	
Объем тонкой фракции (массовый %, $< 3,15 \text{ мм}$ ) после изготовления <sup>a</sup>		На последнем звене цепочки производства	
F1.0	$\leq 1,0\%$		
F2.0	$\leq 2,0\%$		
F2.0+	$> 2,0\%$ (приводить реальное значение)		
Включения (массовый % пресуемой массы)		Должны быть приведены тип и содержание добавок при прессовании, замедлителей шлакования и любых других включений	

	Азот, N (массовый % на сухую часть)		Азот нормируется только для химически обработанной биомассы
	N0.3	≤ 0,3%	
	N0.5	≤ 0,5%	
	N1.0	≤ 1,0%	
	N3.0	≤ 3,0%	
	N3.0+	> 3,0% (приводить реальное значение)	
Информативные	Низшая теплота сгорания на рабочую массу $Q_n^P$ , МДж/кг или энергоемкость $E^P$ (кВт·ч/м <sup>3</sup> насыпной)		Рекомендуется приводить при розничной торговле
	Насыпная плотность рабочей массы, (кг/м <sup>3</sup> )		Рекомендуется приводить при продаже в объемных единицах в категориях (BD200, BD300, BD450)
	Хлор, Cl (массовый % на сухую часть)		Рекомендуется приводить по категориям Cl0.03, Cl0.07, Cl0.10 и Cl0.10+ (если Cl > 0,1% - приводить реальное содержание)

Таблица 9.6. Технические условия и классы качества древесной коры [23]

	Основная таблица		
	Происхождение топлива		Древесная биомасса
	Продажная форма:		Кора
Нормативные	Влажность (массовый % на рабочую массу)		
	M40	≤ 40%	
	M50	≤ 50%	
	M60	≤ 65%	
	M70	≤ 70%	
	Зольность (массовый % на сухую часть)		
	A0.7	≤ 0,7%	
	A1.5	≤ 1,5%	
	A3.0	≤ 3,0%	
	A6.0	≤ 6,0%	
	A12.0	≤ 12,0%	
	Азот, N (массовый % на сухую часть)		
	N0.5	≤ 0,5%	Азот нормируется только для химически обработанной биомассы
	N1.0	≤ 1,0%	
	N3.0	≤ 3,0%	
N3.0+	> 3.0% (приводить реальную величину)		
Измельчение			
Приводить данные по измельчению (измельченная или не измельченная)			
Информативные	Низшая теплота сгорания на рабочую массу $Q^P_H$ , МДж/кг или энергоемкость $E^P$ (кВт·ч/м <sup>3</sup> насыпной)		Рекомендуется приводить
	Насыпная плотность рабочей массы, (кг/м <sup>3</sup> )		Рекомендуется приводить при продаже в объемных единицах в категориях (BD200, BD300, BD450)
	Хлор, Cl (массовый % на сухую часть)		Рекомендуется приводить по категориям Cl0.03, Cl0.07, Cl0.10 и Cl0.10+ (если Cl > 0,1% - приводить реальное содержание)

Таблица 9.7. Технические условия и классы качества дров (древесных поленьев) [23]

	Основная таблица	
	Происхождение топлива	Древесная биомасса
	Продажная форма:	Поленья
Нормативные	Размеры, мм 	Длина (L) и диаметр (D) (наибольший диаметр отдельных чурбаков)
		P200-   L < 200 мм и D < 20 (дрова для розжига)
		P200   L = 200 ± 20 и 40 мм ≤ D ≤ 150 мм
		P250   L = 250 ± 20 и 40 мм ≤ D ≤ 150 мм
	P330   L = 330 ± 20 и 40 мм ≤ D ≤ 160 мм	
	P500   L = 500 ± 40 и 60 мм ≤ D ≤ 250 мм	
	P1000   L = 1000 ± 50 и 60 мм ≤ D ≤ 350 мм	
	P1000+   L > 1000 мм должны быть указаны реальная длина и диаметр	
	Влажность (массовый % на рабочую массу)	
	M20   ≤ 20%	Пригодные для печки поленья
	M30   ≤ 30%	Высушенный в складе
	M40   ≤ 40%	Высушенный в лесу
	M65   ≤ 65%	Свежее после рубки на лесосеке
	Дрова	
	Указать, какое использовано дерево, хвойное или лиственное	
Информативные	Энергоемкость, $E^P$ (кВт/м <sup>3</sup> , кубометр насыпной или в штабеле)	Указывать при розничной продаже
	Объем, м <sup>3</sup> плотный, в штабеле или насыпной, как получен	Указать, какой объем использован при розничной продаже
	Пропорции объема колотых дров	Не расколотые (= в основном кругляк)
		Колотые: более 85% объема - колотые
Смесь: смесь колотых дров и кругляка		
Поверхность раскола	Указать, является ли поверхность раскола ровной <sup>a</sup> , гладкой <sup>a</sup> , а торцы поленьев неровными	

	Плесень и гниль	Если значительная часть дров поражена плесенью и гнилью (более 10% по весу) это должно быть указано.
		В сомнительных случаях в качестве индикатора можно использовать плотность частиц и низшую теплоту сгорания.
<sup>a</sup> Достичь ровности и гладкости можно используя цепную пилу.		

Таблица 9.8. Технические условия и классы качества прессованной соломы [23]

	Основная таблица		
	Происхождение топлива	Травяная биомасса	
	Продажная форма:	Большие тюки	
Нормативные	Размеры (мм), высота ( $L_1$ ), ширина ( $L_2$ ) и длина ( $L_3$ )		
		Высота $L_1$	Ширина $L_2$
	P1	1 300	1 200
	P2	1 300	1 200
	P3	600 - 900	1 200
	P4	1 300	1 200
			Длина $L_3$
			2 200
			2 400
			2 400
			1 100 – 2 750
		Плотность тюка ( $\text{кг/м}^3$ )	
	BD130	$\leq 130$	
	BD150	$\leq 150$	
	BD165	$\leq 165$	
	BD165 +	$> 165$	
		Влажность (% на рабочую массу)	
	M16	$\leq 16\%$	Нет частей с влажностью 23%
	M16+	$\leq 16\%$	Допустимы части с влажностью 23%
M23	$\leq 23\%$	Нет частей с влажностью 30%	
M23+	$\leq 23\%$	Одна или более частей с влажностью 30%	
M30	$\leq 30\%$	Нет частей с влажностью выше 35%	
M30+	$\leq 30\%$	Одна или более частей с влажностью более 35%	
	Зольность (массовый % на сухую часть)		
A05	$\leq 0,7\%$		
A10	$\leq 1,5\%$		
A10+	$\leq 3,0\%$		
	Разновидности биомассы		
	Должно быть указано		
Информативные	Низшая теплота сгорания на рабочую массу $Q_{\text{н}}^{\text{P}}$ , МДж/кг или энергоёмкость $E^{\text{P}}$ (кВт·ч/м <sup>3</sup> насыпной)		
	Рекомендуется приводить		
	Размер и структура частиц		
	Рекомендуется приводить метод производства, влияющий на размер частиц соломы. Например, производился ли обмолот вращением или вибрацией, была ли солома измельчена.		

Таблица 9.9. Технические условия и классы качества древесных опилок [23]

	Основная таблица		
	Происхождение топлива		Древесная биомасса
	Продажная форма:		Опилки
Нормативные	Влажность (% на рабочую массу)		
	M20	≤ 20%	Сухие
	M30	≤ 30%	Пригодные для складирования
	M35	≤ 35%	Ограничения на складирование
	M55	≤ 55%	
	M65	≤ 65%	
	Зольность (массовый % на сухую часть)		
	A0.7	≤ 0,7%	
	A1.5	≤ 1,5%	
	A3.0	≤ 3,0%	
	A6.0	≤ 6,0%	
	Азот, N (массовый % на сухую часть)		
	N0.5	N0.5	Азот нормируется только для химически обработанной биомассы
	N1.0	N1.0	
N3.0	N3.0		
N3.0+	N3.0+ (указать реальные величины)		
Информативные	Низшая теплота сгорания на рабочую массу $Q_{Pн}$ , МДж/кг или энергоемкость $E^P$ (кВт·ч/м <sup>3</sup> насыпной)		Рекомендуется указать
	Насыпная плотность рабочей массы, (кг/м <sup>3</sup> )		Рекомендуется указать если продается по объему в категориях (BD200, BD300, BD350)
	Хлор, Cl (массовый % на сухую часть)		Рекомендуется приводить по категориям Cl0.03, Cl0.07, Cl0.10 и Cl0.10+ (если Cl > 0,1% - приводить реальное содержание)
NB! Размер частиц опилок предполагается однородным. Распределение частиц может быть приведено по требованию.			



### 9.3. Таблицы данных, наиболее употребляемых на практике

Таблица 9.10. Низшая теплота сгорания дров на рабочую массу  $Q^P_H$ , МВт ч/кг (при средней теплоте сгорания на горючую часть 19,2 МДж/кг)

Влажность $W^P$ , %	Теплота сгорания $Q^P_H$ , МВт ч/кг в соответствии с зольностью на рабочую массу				
	1%	2%	3%	4%	5%
25	3,79	3,75	3,71	3,67	3,63
26	3,73	3,69	3,65	3,61	3,57
27	3,67	3,63	3,59	3,55	3,52
28	3,61	3,57	3,54	3,50	3,46
29	3,55	3,51	3,48	3,44	3,40
30	3,49	3,46	3,42	3,38	3,34
31	3,43	3,40	3,36	3,32	3,29
32	3,37	3,34	3,30	3,26	3,23
33	3,31	3,28	3,24	3,21	3,17
34	3,25	3,22	3,18	3,15	3,11
35	3,19	3,16	3,13	3,09	3,06
36	3,14	3,10	3,07	3,03	3,00
37	3,08	3,04	3,01	2,97	2,94
38	3,02	2,98	2,95	2,92	2,88
39	2,96	2,92	2,89	2,86	2,83
40	2,90	2,86	2,83	2,80	2,77
41	2,84	2,81	2,77	2,74	2,71
42	2,78	2,75	2,72	2,68	2,65
43	2,72	2,69	2,66	2,63	2,60
44	2,66	2,63	2,60	2,57	2,54
45	2,60	2,57	2,54	2,51	2,48
46	2,54	2,51	2,48	2,45	2,42
47	2,48	2,45	2,42	2,40	2,37
48	2,42	2,39	2,36	2,34	2,31
49	2,36	2,33	2,31	2,28	2,25
50	2,30	2,27	2,25	2,22	2,19
51	2,24	2,22	2,19	2,16	2,14
52	2,18	2,16	2,13	2,11	2,08
53	2,12	2,10	2,07	2,05	2,02
54	2,06	2,04	2,01	1,99	1,96
55	2,00	1,98	1,96	1,93	1,91
56	1,94	1,92	1,90	1,87	1,85
57	1,88	1,86	1,84	1,82	1,79
58	1,82	1,80	1,78	1,76	1,73
59	1,76	1,74	1,72	1,70	1,68
60	1,71	1,68	1,66	1,64	1,62
61	1,65	1,62	1,60	1,58	1,56

Влажность $W^P$ , %	Теплота сгорания $Q^P_H$ , МВт ч/кг в соответствии с зольностью на рабочую массу				
	1%	2%	3%	4%	5%
62	1,59	1,57	1,55	1,53	1,51
63	1,53	1,51	1,49	1,47	1,45
64	1,47	1,45	1,43	1,41	1,39
65	1,41	1,39	1,37	1,35	1,33
66	1,35	1,33	1,31	1,29	1,28
67	1,29	1,27	1,25	1,24	1,22
68	1,23	1,21	1,19	1,18	1,16
69	1,17	1,15	1,14	1,12	1,10
70	1,11	1,09	1,08	1,06	1,05

Таблица 9.11. Типичные свойства воздушно-сухих поленьев [47]

Тип дерева	Плотность дерева, кг/м <sup>3</sup>	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Низшая теплота сгорания на рабочую массу Q <sup>P</sup> <sub>н</sub>	Энергосодержание насыпного объема, кВт·ч/м <sup>3</sup>
Береза	680	485	13,6	1 800
Ель	490	340	13,7	1 295
Сосна	550	385	13,6	1 450
Ольха	570	400	13,3	1 470
Осина	540	380	12,9	1 360

Таблица 9.12. Классификация шведских пеллетов SS 187120 [12]

Показатель	Единица измерения	Группа 1	Группа 2	Группа 3
Диаметр (D) и длина (L) на складе производителя	мм	$L < 4 \cdot D$	$L < 5 \cdot D$	$L < 5 \cdot D$
Насыпная плотность рабочей массы, D <sup>P</sup>	кг/м <sup>3</sup>	$D^P \geq 600$	$D^P \geq 500$	$D^P \geq 500$
Содержание тонкой фракции (менее 3 мм), F	массовый %	$F \leq 0,8$	$F \leq 1,5$	$F \leq 1,5$
Низшая теплота сгорания на рабочую массу Q <sup>P</sup> <sub>н</sub>	МДж/кг	$\geq 16,9$	$\geq 16,9$	$\geq 15,1$
	кВт·ч/кг	$\geq 4,7$	$\geq 4,7$	$\geq 4,2$

## 10. ЛИТЕРАТУРА

1. *Биотопливо и его сжигание: Вводный курс для операторов котельных на биотопливе*. The Swedish Energy Agency (STEM). Перевод: SETAKON, С.-Петербург, 87 с.
2. *Как разработать и провести в жизнь проект котельной на биотопливе мощностью от 100 киловатт до 10 мегаватт*. The Swedish Energy Agency (STEM). Перевод: SETAKON, С.-Петербург: X-press, 64 с.
3. *Древесина для производства энергии: Технология - окружающая среда - экономика*. 1999: Центр технологии биомассы. 69 с.
4. Вос, Д. *Сжигание биомассы*. [www.bioenergy.by/practa.htm#\\_Toc108576251](http://www.bioenergy.by/practa.htm#_Toc108576251)
5. *Возобновляемая энергия в России: от возможности к реальности*. 2004, Paris: OECD/IEA. 120 с.
6. *От холода к теплу: политика в сфере теплоснабжения в странах с переходной экономикой*. 2004, Paris: OECD/IEA. 301 с.
7. *Green Paper: Towards a European strategy for the security of energy supply*. COM(2000) 769: Brussels, p. 115.
8. *Energy and Transport in Figures*. 2004: Eurostat.
9. *Forest Resources of Europe; CIS, North America; Australia, Japan and New Zealand. Main Report*. UNESCO/FAO Contribution to the Global Forest Resources Assessment. 2000, United Nations: New York and Geneva.
10. *Eurostat Yearbook 2004. The Statistical Guide to Europe. Data 1992 - 2002*. 2004, Luxembourg.
11. Hohle, E.E., ed. *Bioenergi*. 2001, Energigården: Brandbu, p. 390.
12. Alakangas, E. *Properties of fuels used in Finland*. 2000, VTT: Espoo, p. 172+17.
13. *prCEN/TS 14775: Solid Biofuels - Methods for determination of ash content*.
14. *CEN/TS 14774-1: Solid Biofuels - Methods for determination of moisture content - Oven dry method - Part 1: Total moisture - Reference method*.
15. *CEN/TS 14774-2: Solid Biofuels - Methods for determination of moisture content - Oven dry method - Part 2: Total moisture - Simplified method*.
16. *CEN/TS 14774-3: Solid Biofuels - Methods for determination of moisture content - Oven dry method - Part 3: Moisture in general analysis sample*.
17. *prCEN/TS 15148: Solid biofuels - Method for determination of the content of volatile matter*.
18. *CEN/TS 14918: Solid Biofuels - Methods for determination of calorific value*.
19. Nurmi, J. *Heating values of whole-tree biomass in young forests in Finland*. Acta Forestalia Fennica 236. 1993, Tampere, p. 27+3.
20. Nitschke, M. *Standard proposals*. In *Standardisation of Solid Biofuels - Tools for Trading*. 2005: Tallinn.
21. *prCEN/TS 15103: Solid Biofuels - Methods for determination of bulk density*.
22. *CEN/TS 14961: Solid Biofuels - Fuel Specification and Classes*. April 2005, p. 40.
23. *Fuel Quality Assurance, prCEN/TS 15234 - Solid biofuels, Working document N117*. In *Working document N117*. January 2005, p. 40.
24. Alakangas, E. *CEN Technical Specification for Solid Biofuels - Fuel*

- Specification and Classes*. 2005, VTT, p. 12.
25. Alakangas, E. *Quality guidelines for fuel peat*. In *NORDTEST - Report*. 2005, VTT Processes.
  26. Impola, R. *Puupolttolainien laatuohje*, in *FINBIO Julkaisuja 5*. 1998. 1998, VTT: Jyväskylä, p. 33.
  27. *Developing technology for large-scale production of forest chips*. *Wood Energy Technology Programme 1999-2003*. In *Technology Programme Report 6/2004*. 2004: Helsinki.
  28. *Wood for Energy Production. Technology-Environment-Economy*. 2nd Edition ed. 1999.
  29. *Production of forest chips in Finland*. In *OPET Report 6*. 2001, VTT Energy.
  30. Uusitalo, J. *Metsäteknologian perusteet*. Metsälehti Kustannus, 2003.
  31. *Nordic Treasure Hunt: Extracting Energy from Forest Residue*. 2000: Technical Research Centre of Finland (VTT).
  32. *Grothantering*. SCA SKOG, 1990.
  33. *Wood Fuel. Heat from the forest*. 1983, Domänverket och SSR: Stockholm.
  34. Junkkari OY. [www.mako-junkkari.fi](http://www.mako-junkkari.fi)
  35. Sivatec A/S. [www.sivatec.com](http://www.sivatec.com)
  36. Logset OY. [www.logset.com](http://www.logset.com)
  37. *Mobiler Holzhäcksler. Modul für Mengle-Fahrgestell*, Bauereihe 6000.
  38. LHM Hakkuri OY. [www.lhmhakkuri.com](http://www.lhmhakkuri.com)
  39. Morbark inc. [www.morbark.com](http://www.morbark.com)
  40. Pinox OY. [www.pinox.com](http://www.pinox.com)
  41. John Deere Forestry OY. [www.deere.com/fi\\_FI/](http://www.deere.com/fi_FI/)
  42. Komatsu Forest OY. [www.komatsuforest.com](http://www.komatsuforest.com)
  43. *Metsänomistajan puunkorju*, in *Työtehoseuran Julkaisuja 307*. 1989, Vaasa OY.
  44. Maaselän Kone OY. [www.maaselankone.fi](http://www.maaselankone.fi)
  45. Posch GmbH. [www.posch.com](http://www.posch.com)
  46. Laitilan Tautarakenne OY. [www.japa.fi](http://www.japa.fi)
  47. Saarman, E. *Puiduteadus*. 1998: OÜ Vali Press.
  48. Pottie, M., Guimier, D. *Preparation of Forest Biomass for Optimal Conversion*. 1985, Forest Engineering Research Institute of Canada, p. 112.
  49. *Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing*, ed. Sjaak van Loo, J.K. 2002: Twente University Press.
  50. *Straw for Energy Production: Tecgnology - Environment - Economy*. 1998, The Centre of Biomass Technology. p. 52.
  51. Klemetti, V., Scholz, A., Selin, P., Nyrönen, T. *Advantages of mole drainage in the peat harvesting fields during the first two experimental years*. In *Conference on Peat Production and Use, June 11 - 15*. 1990. Jyväskylä, Finland.
  52. Lakso, E., Ihme, R., Heikkinen, K. *Development of methods for purification runoff water from peat production areas*. in *International Conference on Peat Production and Use, June 11 - 15*. 1990. Jyväskylä, Finland.
  53. Varpu Savolainen, H.B. *Wood Fuels*. 2000, Jyväskylä. 192.
  54. Senior, J. *Boiler Test Calculations*. 1989, London, p. 140.
  55. *Audit Procedures for Solid-Fuel-Fired Heating Plants*. 1997, MOTIVA, Ekono Energy, VTT Energy: Helsinki, p. 80.
  56. Irak, A., Veide, H. *Aurukatlad*. 1952, Tallinn: ERK, p. 288.
  57. *Kotimaista polttoainetta käyttävien pienten kaukolämpöjärjestelmien*

- suunnittelu ja toteutus.* In *KTM Energiaosasto, Sarja D:92.* 1986, EKONO OY: Helsinki, p. 173.
58. Stassen, H.E. *Small-Scale Biomass Gasifiers for Heat and Power: A Global Review.* 1995, World Bank Technical Paper No. 296. Energy series: Washington, p. 88.
  59. Saviharju, K. *Combustion of Low Grade Fuels in Finland.* In *VTT Symposium 107: Low-grade fuels.* 1990, Technical Research Centre of Finland: Espoo, p. 67 – 80.
  60. Houmann Jakobsen, H., Helge, T. *Gasification breakthrough in biomass.* News from DBDH, 2005. 2/2005: p. 14 – 17.
  61. Condens OY. [www.condens.fi](http://www.condens.fi)
  62. *Energiesparend: Info-Mappe:* O.Ö.ENERGIESPARVERBAND.
  63. Aagard Jensen, J.-O., Jakobsen, L.K. *DH production based on bio fuels.* News from DBDH. 2/2005: p. 11 – 13.
  64. *Alle 10 MW:n biolämpöläitöksen suunniteluperiaattet.* 2001, OPET Finland, Elomatic: Jyväskylä.
  65. *Energiabilanss 1993, 1994., 2003:* Statistikaamet.