

**Программа развития ООН (ПРООН)
Глобальный экологический фонд (ГЭФ)
Комитет по энергоэффективности
при Совете Министров Республики Беларусь**

ПЕРЕДОВОЙ ОПЫТ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭНЕРГИИ БИОМАССЫ

в 2-х частях

Минск, 2006

Программа развития ООН (ПРООН)
Глобальный экологический фонд (ГЭФ)
Комитет по энергоэффективности
при Совете Министров Республики Беларусь

Основной темой настоящей работы является изучение передового опыта сжигания древесины. Также рассматриваются некоторые аспекты сжигания других видов биомассы. Подробно описываются установки, работающие на биомассе, с автоматическим управлением технологическим процессом мощностью от 0,1 до 10 МВт.

Книга издана и переведена в рамках совместного проекта ПРООН/ГЭФ и Правительства Республики Беларусь «Применение биомассы для отопления и горячего водоснабжения в Республике Беларусь».

Рецензент части А: Сжигание биомассы — В.Л. Ганжа, д.т.н., профессор, ИТМО им. А.В. Лыкова

Рецензент части Б: Производство и поставка древесного топлива — А.С. Федоренчик, к.т.н., доцент, БГТУ

Составитель: John Vos

BTG Biomass Technology Group BV
c/o University of Twente P.O. Box 217
7500 AE Enschede The Netherlands
Тел.: +31-53-4861186
Факс: +31-53-4861180
www.btgworld.com
office@btgworld.com

СОДЕРЖАНИЕ

Часть А: Сжигание биомассы	9
1 ОБЩИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЕНИЯ	10
ВВЕДЕНИЕ	10
1.2 СОСТАВ ДРЕВЕСИНЫ	10
1.3 ТЕХНИЧЕСКИЙ И ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ АНАЛИЗ.....	11
1.3.1 Технический анализ	11
1.3.2 Элементарный анализ.....	12
1.4 ВЛАЖНОСТЬ И ТЕПЛОТВОРНАЯ СПОСОБНОСТЬ (МДж/кг)	12
1.5 СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВЕСНОЙ ЩЕПЫ.....	14
1.6 ТЕОРИЯ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ.....	16
1.6.1 Этапы сгорания древесины	16
1.6.2 Наиболее важные переменные характеристики процесса сгорания биомассы.....	18
2 МЕТОДЫ ПРОМЫШЛЕННОГО СЖИГАНИЯ БИОМАССЫ	22
2.1 ВВЕДЕНИЕ	22
2.2 СЖИГАНИЕ ТОПЛИВА В НЕПОДВИЖНОМ СЛОЕ	23
2.2.1 Топки с колосниковыми решетками	23
2.2.2 Топки с нижней подачей топлива	32
2.3 СЖИГАНИЕ ТОПЛИВА В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ.....	33
2.3.1 Сжигание топлива в кипящем псевдоожигенном слое (КПС)	34
2.3.2 Сжигание топлива в циркулирующем псевдоожигенном слое (ЦПС).....	35
2.4 ПЫЛЕВОЕ СЖИГАНИЕ.....	35
2.5 ОБОБЩЕННЫЕ ДАННЫЕ О ТЕХНОЛОГИЯХ СЖИГАНИЯ БИОМАССЫ.....	36
2.6 СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА И ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ КПД УСТАНОВКИ	38
2.7 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТАНОВОК, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ СЖИГАНИЯ БИОМАССЫ	42
3 КОМБИНИРОВАННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ	46
3.1 ВВЕДЕНИЕ	46
3.1.1 Процессы с замкнутым циклом.....	46
3.1.2 Процессы с разомкнутым циклом	47
3.2 ПАРОВЫЕ ТУРБИНЫ	47
3.3 ПАРОВЫЕ ПОРШНЕВЫЕ ДВИГАТЕЛИ	50

3.4	ВИНТОВЫЕ ПАРОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ	53
3.5	ОРГАНИЧЕСКИЙ ЦИКЛ РЕНКИНА.....	55
3.6	ТУРБИНЫ С ЗАМКНУТЫМ ЦИКЛОМ	56
3.7	ДВИГАТЕЛИ СТИРЛИНГА	57
3.8	ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ	60
4	ВЫБРОСЫ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ СГОРАНИИ БИОМАССЫ	62
4.1	ВВЕДЕНИЕ	62
4.2	ВЫБРОСЫ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ ПОЛНОМ СГОРАНИИ.....	62
4.3	ВЫБРОСЫ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ НЕПОЛНОМ СГОРАНИИ.....	64
4.4	УРОВНИ ВЫБРОСОВ.....	66
4.5	ПЕРВИЧНЫЕ МЕРЫ ПО СНИЖЕНИЮ УРОВНЯ ВЫБРОСОВ.....	69
4.5.1	<i>Изменение уровня влажности топлива.....</i>	<i>69</i>
4.5.2	<i>Изменение размеров частиц топлива</i>	<i>70</i>
4.5.3	<i>Выбор оборудования для сжигания топлива</i>	<i>70</i>
4.5.4	<i>Оптимизация управления процессом горения</i>	<i>70</i>
4.5.5	<i>Ступенчатая подача воздуха при сжигании топлива.....</i>	<i>71</i>
4.5.6	<i>Ступенчатая подача топлива и дожиг</i>	<i>73</i>
4.6	ВТОРИЧНЫЕ МЕРЫ ПО СНИЖЕНИЮ УРОВНЯ ВЫБРОСОВ	74
4.6.1	<i>Методы контроля содержания частиц</i>	<i>74</i>
4.6.2	<i>Методы котроля NO_x.....</i>	<i>84</i>
4.7	ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЙ УРОВЕНЬ ВЫБРОСОВ	86
5	ОПИСАНИЕ ПРИМЕРОВ УСТАНОВОК И ТЕХНОЛОГИЙ	88
5.1	ВВЕДЕНИЕ	88
5.2	ТЭЦ, РАБОТАЮЩАЯ НА БИОМАССЕ С ОЦР (АДМОНТ)	88
5.2.1	<i>Общие данные</i>	<i>88</i>
5.2.2	<i>Описание.....</i>	<i>89</i>
5.2.3	<i>Технические характеристики</i>	<i>91</i>
5.2.4	<i>Инициаторы и стороны, участвующие в реализации проекта.....</i>	<i>91</i>
5.2.5	<i>Финансирование</i>	<i>91</i>
5.2.6	<i>Результаты.....</i>	<i>92</i>
5.2.7	<i>Потенциал для воспроизведения.....</i>	<i>92</i>
5.2.8	<i>Где получить дополнительную информацию</i>	<i>93</i>
5.3	УСТАНОВКА КОМБИНИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ХОЛОДА НА БИОМАССЕ «ФИШЕР/ФАСС» (г. РАЙД)	93
5.3.1	<i>Общие данные</i>	<i>93</i>
5.3.2	<i>Описание установки</i>	<i>94</i>
5.3.3	<i>Технические характеристики</i>	<i>95</i>
5.3.4	<i>Инициаторы и участники реализации проекта.....</i>	<i>95</i>

5.3.6	Финансирование	95
5.3.7	Результаты.....	96
5.3.8	Потенциал для воспроизведения.....	96
5.3.9	Где получить дополнительную информацию	96
5.4	КОТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА МЕСТНОГО КОММУНАЛЬНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА БИОМАССЕ (СОНДРЕ, НИССУМ)	96
5.4.1	Общие данные	96
5.4.2	Описание.....	97
5.4.3	Инициаторы и участники реализации проекта.....	98
5.4.4	Финансирование	98
5.4.5	Результаты.....	99
5.4.6	Потенциал для воспроизведения.....	99
5.4.7	Где получить дополнительную информацию	99
5.5	ТЭЦ НА БИОМАССЕ НА ПРЕДПРИЯТИИ «ХОНКАРАКЕННЕОЙ»(КАРСТУЛА).....	100
5.5.1	Общие данные и цели.....	100
5.5.2	Описание.....	100
5.5.3	Технические данные.....	102
5.5.4	Инициаторы и участники реализации проекта.....	102
5.5.5	Финансирование	102
5.5.6	Результаты.....	102
5.5.7	Потенциал для воспроизведения.....	103
5.5.8	Где получить дополнительную информацию	103
5.6	ЗАМЕНА УСТАНОВКИ НА БИОМАССЕ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА УСТАНОВКУ ТЭЦ НА БИОМАССЕ (г. ЭСКЙО)	103
5.6.1	Общие данные	103
5.6.2	Описание.....	104
5.6.3	Технические характеристики	105
5.6.4	Инициаторы и участники реализации проекта.....	105
5.6.5	Финансирование	105
5.6.6	Результаты.....	106
5.6.7	Потенциал для воспроизведения.....	106
5.6.8	Где получить дополнительную информацию	106
ЛИТЕРАТУРА		107
Приложение 1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ТЕРМИНОЛОГИЯ		109
Приложение 2. ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ СЖИГАНИИ БИОМАССЫ, И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ		113

Часть Б: Производство и поставка древесного топлива	115
1 ВИДЫ ЛЕСНОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА	116
1.1 ЧТО ЯВЛЯЕТСЯ ЛЕСНЫМ ДРЕВЕСНЫМ ТОПЛИВОМ?	116
1.2 ЧАСТИ ДЕРЕВА	116
1.3 ИСТОЧНИКИ ЛЕСНОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА	117
1.4 МЕТОДЫ ПОСТАВОК ЛЕСНОЙ ДРЕВЕСИНЫ	119
1.5 ЗАГОТОВКА ЛЕСНОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА И ЕЕ СВЯЗЬ С ТРАДИЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ ЗАГОТОВКИ ЛЕСА	120
2 ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ЗАГОТОВКЕ ТОПЛИВНОЙ ДРЕВЕСИНЫ	121
2.1 ВАЛКА	121
2.2 ТРЕЛЕВКА	122
2.2.1 Форвардеры	122
2.2.2 Трелевочные тракторы	123
2.2.3 Канатные трелевочные установки	123
2.3 ОБРЕЗКА СУЧЬЕВ/ОКОРКА	123
2.4 ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ	125
2.5 ВТОРИЧНАЯ ТРАНСПОРТИРОВКА	127
2.6 СИСТЕМА ЛЕСОЗАГОТОВОК И СОСТАВ ОБОРУДОВАНИЯ	127
3 ИСТОЧНИКИ ЛЕСНОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА	129
3.1 ЗАГОТОВКА ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ НА РУБКАХ ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ	129
3.2 ТОНКОМЕРНАЯ ДРЕВЕСИНА, ЗАГОТОВЛЯЕМАЯ НА ПЕРВЫХ РУБКАХ ПРОРЕЖИВАНИЯ	129
3.3 КОРЧЕВАНИЕ ПНЕЙ НА ЛЕСОСЕКАХ, ПРОЙДЕННЫХ РУБКАМИ ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ	130
4 ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА ИЗ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ	131
4.1 ОКУЧИВАНИЕ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ	131
4.2 ТРЕЛЕВКА (ТРАНСПОРТИРОВКА) ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ В ЛЕСУ	132
4.3 ХРАНЕНИЕ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ В ЛЕСУ	134
4.3.1 Требования к условиям хранения на верхнем складе	134
4.3.2 Методы складирования на верхнем складе	135

4.4	ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ НА ВЕРХНЕМ СКЛАДЕ.....	136
4.5	ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ НА ЛЕСОСЕКЕ	138
4.6	ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ КОНЕЧНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ	139
4.6.1	<i>Измельчение сыпучих лесосечных отходов.....</i>	140
4.6.2	<i>Измельчение пакетированных лесосечных отходов</i>	140
4.7	ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ НА НИЖНЕМ СКЛАДЕ	142
4.8	СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРОИЗВОДСТВА ЩЕПЫ.....	143
5	ЗАГОТОВКА ТОНКОМЕРНЫХ ДЕРЕВЬЕВ	144
5.1	ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ЗАГОТОВКИ	145
5.2	РУЧНЫЕ ВАЛКА И ШТАБЕЛЕВКА.....	146
5.3	ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ И ПРОИЗВОДСТВО ЩЕПЫ	147
6	ЗАГОТОВКА ПНЕЙ И КОРНЕЙ	148
7	ЛОГИСТИКА ПРОИЗВОДСТВА ЛЕСНОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА	149
7.1	ФАКТОРЫ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЛОГИСТИКИ.....	149
7.2	ХРАНЕНИЕ БУФЕРНЫХ И РЕЗЕРВНЫХ ЗАПАСОВ	151
7.3	ПРИЕМКА И ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНЫЕ ОПЕРАЦИИ	151
8	КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЛЕСНОЙ ЩЕПЫ	153
8.1	ВЛАЖНОСТЬ	153
8.2	ДРУГИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА	154
9	ФАКТОРЫ СТОИМОСТИ СИСТЕМЫ ПОСТАВКИ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА	156
9.1	ФАКТОРЫ СТОИМОСТИ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ.....	156
9.2	ХАРАКТЕРИСТИКИ МАШИН КАК ФАКТОРЫ СТОИМОСТИ	156
9.3	УСЛОВИЯ УЧАСТКА ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ КАК ФАКТОРЫ СТОИМОСТИ.....	158
9.4	ЧЕЛОВЕЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ.....	159
9.5	ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ МАШИНАМИ	159
9.6	МАСШТАБ ПРОИЗВОДСТВА	160
9.7	ОРГАНИЗАЦИЯ ПОСТАВОК ЛЕСНОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА	161
9.8	КАЧЕСТВО ЩЕПЫ КАК ФАКТОР СТОИМОСТИ	162

9.9 СТРУКТУРА ИЗДЕРЖЕК ПРИ ЗАГОТОВКЕ ТОПЛИВНОЙ ДРЕВЕСИНЫ.....	163
9.10 УТИЛИЗАЦИЯ ЗОЛЫ	164
9.11 ИЗДЕРЖКИ И ДОХОДЫ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ/ЛЕСОВОДЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ, СВЯЗАННЫХ С ЗАГОТОВКОЙ ТОПЛИВНОЙ ДРЕВЕСИНЫ	164
10 ЦЕНЫ НА ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО В ОТДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ	166
10.1 ДИНАМИКА ЦЕН НА ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО.....	166
10.2 УРОВЕНЬ ЦЕН НА ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО	167
ЛИТЕРАТУРА	168
Приложение 1. СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ ПО БИОЭНЕРГИИ И ЛЕСОЗАГОТОВКАМ	171
Приложение 2. МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЛЕСОЗАГОТОВКИ	180
Приложение 3. ОБЗОР ОБОРУДОВАНИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ	187
Приложение 4. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПЛОТНОСТЬ ЛЕСНОЙ ЩЕПЫ	195

Часть А:

Сжигание биомассы

1 ОБЩИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЕНИЯ

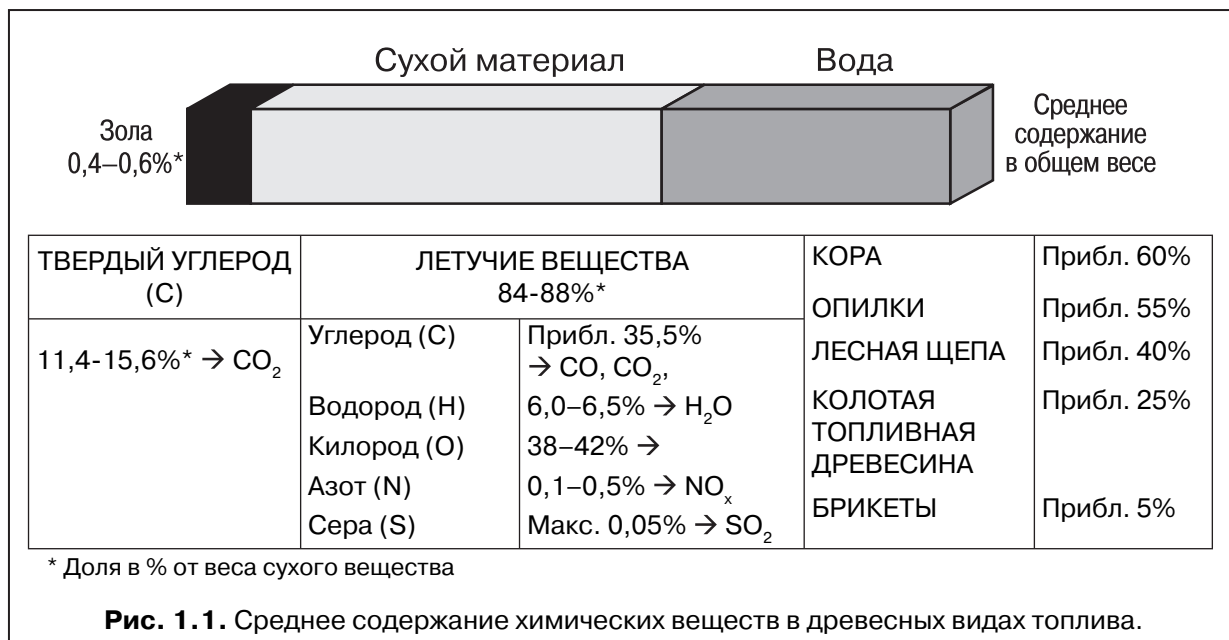
1.1 Введение

Характеристики и свойства древесины, используемой как топливо, варьируются в широких пределах в зависимости от вида древесины и типа предварительной обработки. Например, влажность топлива, подаваемого в топку, может составлять от 25 до 55 вес.% (на рабочую массу) (кора, отходы лесопильного производства) или менее 10 вес.% (гранулированное топливо, брикеты, отходы обработки сухой древесины).

Топливные свойства древесины определяются рядом характеристик. Среди них теплота сгорания, химический состав (например, содержание таких элементов, как хлор, углерод, азот, водород и сера), влажность, твердость, количество летучих веществ, количество твердого углерода, содержание и состав золы, характеристики плавления и ошлакования золы, количество загрязняющих веществ, пыли, спор грибов. Топливную древесную щепу часто производят из различных пород деревьев с разным соотношением стволовой древесины, коры, листьев, ветвей, почек и даже шишек, содержание которых изменяет свойства топлива.

1.2 Состав древесины

Основными компонентами клеток древесины являются целлюлоза¹, гемицеллюлоза² и лигнин³, которые составляют 99% массы древесного материала. Целлюлозу и гемицеллюлозу образуют длинные цепи углеводов (таких, как глюкоза), лигнин же является осложненным компонентом полимерных фенольных смол. Лигнин тесно связан с гемицеллюлозой, поскольку он действует как склеивающий агент, склеивая пучки цепей целлюлозы и растительные ткани. Таким образом, лигнин придает растению механическую прочность. Он богат углеродом и водородом, которые яв-



¹ Целлюлоза (C₆H₁₀O₅) является конденсированным полимером глюкозы (C₆H₁₂O₆). Стенки волокон состоят в основном из целлюлозы и составляют от 40 до 45% сухого веса древесины.

² Гемицеллюлоза состоит из различных сахаров (кроме глюкозы), обволакивающих волокна целлюлозы, которые составляют от 20 до 35% веса древесины.

³ Лигнин (C₄₀H₄₄O₆) представляет собой несахарный полимер, придающий прочность древесным волокнам, который составляет от 15 до 30% сухого веса материала.

1. ОБЩИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЕНИЯ

ляются основными элементами производства теплоты. Поэтому лигнин обладает более высокой теплотворной способностью по сравнению с углеводородами. Древесина и кора также содержат так называемые экстрактивные вещества, такие как терпены, жиры и фенолы. Многие из них растворимы в органических соединениях (гексане, ацетоне, этаноле) и горячей воде. Древесина содержит относительно малое количество экстрактивных веществ по сравнению с корой и листвой.

Приблизительно половина массы свежесрубленного дерева состоит из воды. Вторая половина представляет собой сухое древесное вещество, содержащее 85% летучих веществ, 14,5% твердого углерода и 0,5% золы (рис. 1.1). В безводной древесине общее содержание углеродного компонента составляет приблизительно 50%. При сжигании древесины составляющие ее компоненты превращаются в водяной пар (H_2O), двуокись углерода (CO_2), оксиды азота (NO_x), серы (SO_2) и золу. Древесина практически не содержит серы; максимальное ее содержание здесь составляет 0,05%.

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

Теплотворные способности различных типов топлива зависят от соотношения содержащихся в них элементов. Углерод и водород увеличивают теплоту сгорания, в то время как высокое содержание кислорода в древесине ее уменьшает. По сравнению с другими видами топлива древесина имеет довольно низкое содержание углерода (около 50% сухого веса) и высокое содержание кислорода (около 40%), а следовательно, довольно низкую теплоту сгорания на единицу сухого веса. Сухие древесина и кора также характеризуются очень низким уровнем зольности при сгорании. Так, один плотный кубический метр древесного топлива дает только 3–5 кг чистой золы. Однако на практике зола часто содержит некоторое количество песка и продуктов неполного сгорания углерода.

Горючие вещества, содержащиеся в твердом топливе, можно разделить на две группы: летучие вещества и такие горючие компоненты, как твердый углерод. Обычно древесина имеет высокое содержание летучих веществ и низкое содержание твердого углерода. 80% энергии древесина генерирует за счет сгорания летучих веществ или газов и 20% — в результате сгорания твердого углерода (раскаленные угли). Так как из-за большого количества летучих веществ, содержащихся в древесине, при ее горении образуются высокие языки пламени, для сгорания топлива требуется значительное пространство. Древесная кора и торф имеют аналогичные характеристики горения.

1.3 Технический и элементарный анализ

Для определения топливных свойств древесины используются два вида анализа. *Технический анализ* представляет собой определение с применением предписанных методик содержания влаги (ISO 331), содержания летучих веществ (ISO 562), зольности (ISO 1171) и содержания связанного углерода (ISO 609) в топливе. *Элементарный анализ* представляет собой определение с применением предписанных методик элементарного состава топлива.

1.3.1 Технический анализ

Технический анализ проводится с целью определения таких характеристик, как содержание связанного углерода, содержание летучих веществ, влажности и зольности, определяемых следующим образом.

Зола

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

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

Влажность

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

Летучие вещества и связанный углерод

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

сухой материал *связанный C = 100 – зола (сухой материал) –
– летучие вещества (сухой материал)*

сбзм *связанный C = 100 – летучие вещества (сбзм)*

мп *связанный C = 100 – зола (мп) – содержание влаги –
– летучие вещества (мп)*

1.3.2 Элементарный анализ

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

сухой материал *C + H + O + N + S + Cl + F + Br + зола = 100*

сбзм *C + H + O + N + S + Cl + F + Br = 100*

мп *C + H + O + N + S + Cl + F + Br + зола + содержание влаги = 100*

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

По сравнению с другими видами твердого топлива биомасса содержит относительно большое количество водорода и кислорода (рис. 1.2).

1.4 Влажность и теплотворная способность (МДж/кг)

Содержание влаги в древесном топливе, составляющее обычно от 20 до 65%, зависит от различных факторов, включая климатические условия, время года, породу дерева, а также от свойств части ствола, используемой в качестве топлива, и этапа хранения то-

1. ОБЩИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЕНИЯ

плива. *Теплотворная способность* определяется высшей теплотой сгорания (высшая теплотворная способность ВТС⁴) или низшей теплотой сгорания (низшая теплотворная способность НТС⁵). Величина низшей или высшей теплоты сгорания может определяться на единицу сухого топлива (как правило, кг или м³) или на единицу топлива с учетом его влажности. Кроме влаги, содержащаяся в топливе влага также образуется при сгорании водорода. При определении значения ВТС допускают, что влага конденсируется в воду, а при вычислении значения НТС предполагается, что влага находится в виде насыщенного пара.

Теплотворная способность обычно выражается в МДж/кг.

Значение ВТС топливной биомассы обычно составляет от 18 до 21 МДж/кг (со), что соответствует ВТС торфа, но значительно ниже, чем ВТС нефти (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Значения теплоты сгорания отдельных видов топлива.

Топливо	H _i ⁶ (МДж/кг)
Древесина (сухая)	18,5-21,0
Торф (сухой)	20,0-21,0
Углерод	23,3-24,9
Нефть	40,0-42,3

ВТС биомассы можно достаточно точно определить с помощью следующей эмпирической формулы:

$$ВТС = 0,3491 \cdot X_C + 1,1783 \cdot X_H + 0,1005 \cdot X_S - 0,0151 \cdot X_N - 0,1034 \cdot X_O - 0,0211 \cdot X_{\text{зола}} \quad [\text{МДж/кг}],$$

где X_i — содержание углерода (С), водорода (Н), серы (S), азота (N), кислорода (O) и золы в вес.% (со). Как можно видеть из указанной формулы, увеличение содержания С, Н и S повышает ВТС, а увеличение содержания N, O и золы понижает ВТС. Определение ВТС (НТС, МДж/кг, во) может производиться по НТС с использованием значений доли влажности и доли водорода в топливе следующим образом:

$$ВТС_{ar} = ВТС_{dry} \cdot (1 - w/100)$$

$$ВТС_{dry} = ВТС_{daf} \cdot (1 - a/100)$$

$$НТС_{dry} = ВТС_{dry} - 2,442 \cdot 8,396 \cdot H/100$$

$$НТС_{ar} = НТС_{dry} \cdot (1 - w/100) - 2,442 \cdot w/100$$

$$НТС_{ar} = ВТС_{dry} - 2,442 \cdot \{8,396 \cdot H/100 \cdot (1 - w/100) + w/100\}$$

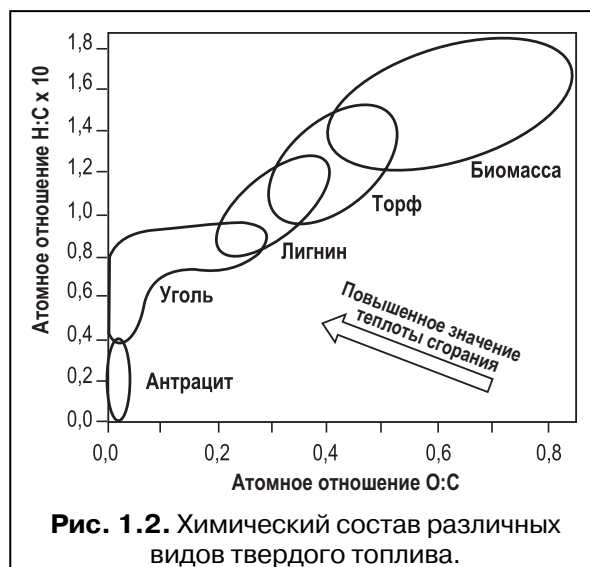
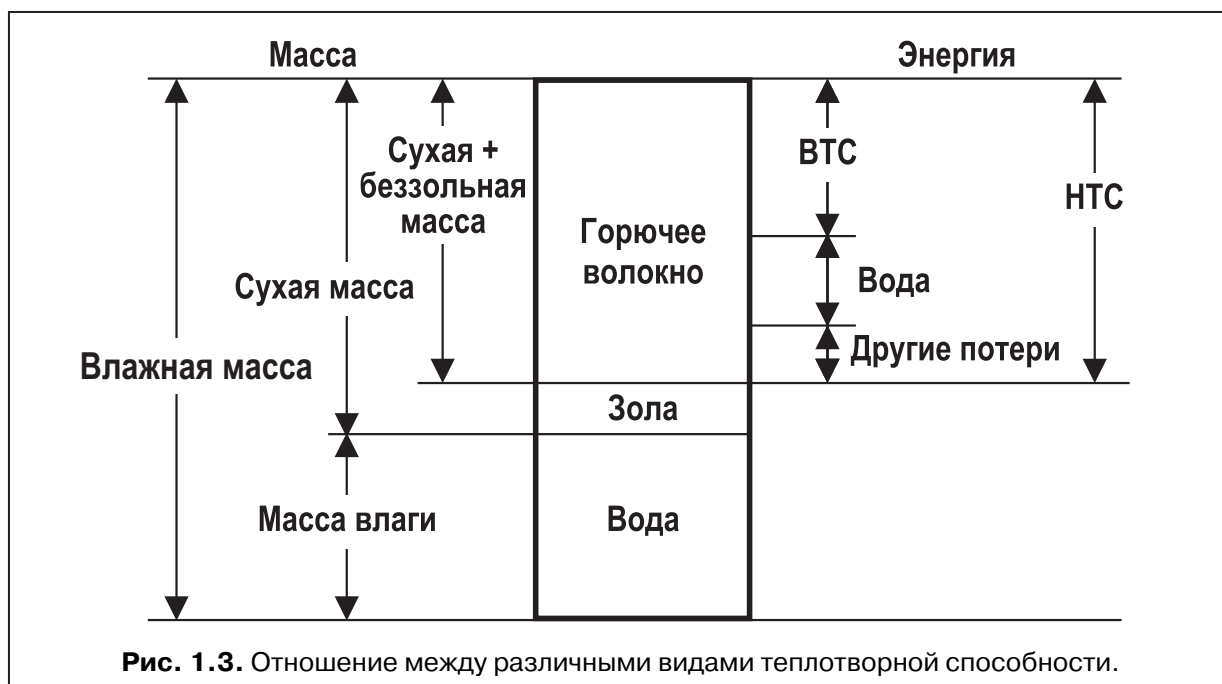


Рис. 1.2. Химический состав различных видов твердого топлива.

⁴ Высшая теплотворная способность (ВТС), которую также называют высшей теплотой сгорания, или калориметрической теплотой сгорания.

⁵ Низшая теплотворная способность (НТС), которую также называют низшей теплотой сгорания, или эффективной теплотой сгорания.

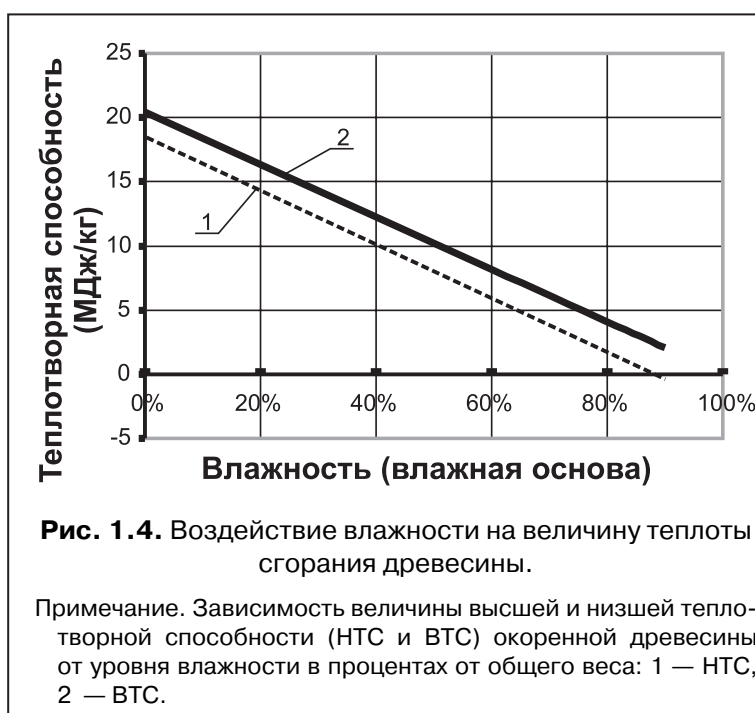
⁶ Значение *эффективной теплоты сгорания* (H_i) используется, когда вода после сгорания топлива находится в парообразном состоянии. Как правило, в расчетах технических процессов горения применяется это значение, так как отходящий газ редко охлаждается до температуры, при которой пар конденсируется в воду. Значение *калориметрической теплоты сгорания* используется, когда вода после сгорания топлива находится в жидком состоянии.



Здесь w — доля влаги на рабочую массу; a — доля золы (сухой материал); H — массовая доля водорода в пробе (сухой материал).

Рис. 1.3 иллюстрирует зависимость теплотворной способности от различных параметров.

Как можно видеть из рис. 1.3, теплотворная способность в значительной степени определяется уровнем влажности, так как испарение воды требует затрат энергии. Степень воздействия влажности на теплоту сгорания также иллюстрирует график, представленный на рис. 1.4.



1.5 Средние значения характеристик древесной щепы

В этом разделе описываются наиболее важные характеристики топлива, включая:

- влажность
- плотность
- теплоту сгорания
- гранулометрический состав частиц
- содержание и характеристики золы
- химический состав

1. ОБЩИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЕНИЯ

- количество летучих веществ
- результаты технического и элементарного анализов.

Влажность древесной щепы зависит от метода ее производства. Влажность щепы, выработанной из свежесрубленных деревьев, составляет от 50 до 60% общего веса щепы, однако после подсыхания деревьев в летний период в течение 3–6 месяцев влажность снижается до уровня 35–45%.

Объемная плотность щепы обозначает соотношение масс единиц объема твердого материала и так называемого общего объема материала, т.е. определяет, сколько плотных м³ содержится в 1 м³ общего объема. Объемная плотность щепы определяется главным образом техническими характеристиками рубительной машины, такими как гранулометрический состав частиц, мощности выдувного потока и метода погрузки. Однако время сушки и степень уплотнения, которое происходит при транспортировании на большие расстояния, не оказывают значительного воздействия на содержание твердого объема. Определение содержания плотного объема (части плотного объема) требуется для преобразования единиц общего объема в единицы объема твердого вещества. Объемная плотность древесины австрийской березы (40% влаж._{сух.осн.}) составляет около 327 кг/м³ насыпного материала и австрийской ели — 221 кг/м³ насыпного материала.

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

Значения *теплотворной способности* древесной щепы не зависят в значительной степени от используемых для ее производства пород деревьев, хотя хвойные породы имеют несколько более высокую теплотворную способность, чем широколиственные или листопадные породы деревьев.

Структурными элементами (по данным *элементарного анализа*) органической части древесины являются углерод (45–50%), кислород (40–45%), водород (4,5–6%) и азот (0,3–3,5%). Содержание золы обычно составляет несколько процентов или доли процента (0,3% в ели или березе без коры, 1,6% в березовой коре и 3,4% в еловой коре).

Очевидным преимуществом древесной биомассы перед ископаемым топливом является низкое содержание в ней серы. Элементарный анализ древесины некоторых пород деревьев показывает, что содержание углерода и кислорода в древесине различных пород является довольно однородным. Кора имеет более высокое содержание углерода и кислорода, чем древесина. В этом отношении наиболее наглядными примерами являются береза и ольха. По данным *технического анализа* количество летучих веществ составляет 65–85%, фиксированного углерода — 17–25% и зольность — 0,08–2,3%.

Во многих источниках приводятся данные о свойствах древесного топлива. Наиболее полной базой данных о характеристиках древесного топлива является база данных Phyllis ECN, центра исследований в области энергетики Нидерландов, к которой можно получить доступ на вебсайте по следующему URL: <http://www.ecn.nl/phyllis/>

Значения влажности, теплоты сгорания, объемной плотности и энергетической плотности различных видов древесного топлива приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2. Физические характеристики отдельных древесных видов топлива.

Древесный материал	Влажность [вес.% влаж.осн]	ВТС [(кВт·ч /кг (сух.осн)]	НТС [(кВт·ч /кг (сух.осн)]	Объемная плотность [кг (влаж.осн) /м³]	Плотность энергии [кВт· ч/м³]
Гранулированная древесина	10,0	5,5	4,6	600	2756
Древесная щепа (твердая древесина, подвергнутая предварительной сушке)	30,0	5,5	3,4	320	1094
Древесная щепа (твердая древесина)	50,0	5,5	2,2	450	1009
Древесная щепа (мягкая древесина, подвергнутая предварительной сушке)	30,0	5,5	3,4	250	855
Древесная щепа (мягкая древесина)	50,0	5,5	2,2	350	785
Кора	50,0	5,6	2,3	320	727
Опилки	50,0	5,5	2,2	240	538

1.6 Теория процесса горения древесины

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

Выбросы, образующиеся при неполном сгорании, могут быть вызваны:

- плохим смешением воздуха и топлива в топливной камере, в результате чего образуются локальные зоны с недостатком воздуха;
- недостаточным количеством кислорода;
- низкой температурой горения;
- недостаточным временем пребывания;
- чрезмерно низкой концентрацией радикалов, наблюдающейся в отдельных случаях, например на последнем этапе процесса сгорания (фаза сгорания углей) при дозированном сжигании топлива.

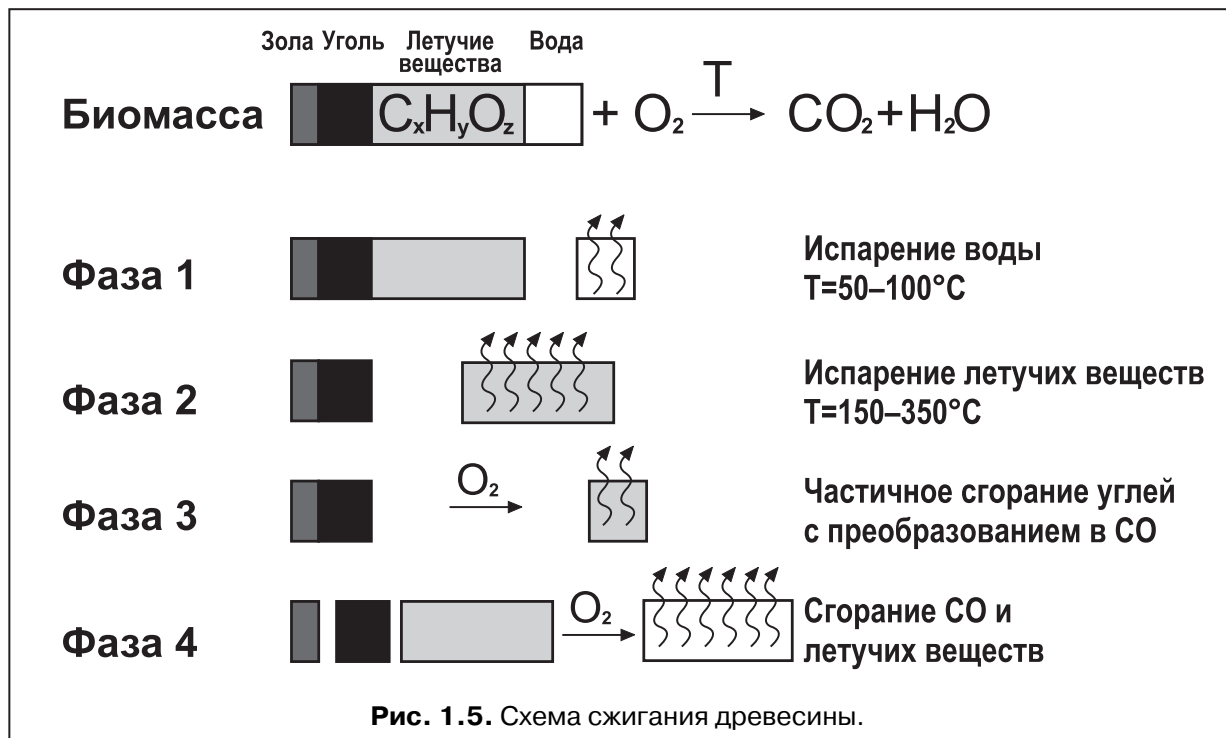
Эти переменные величины связаны друг с другом, хотя в случаях, когда имеется достаточное количество кислорода, наиболее важной переменной является температура, оказывающая экспоненциальное воздействие на скорость реакции. Оптимизация этих переменных позволяет снизить уровни всех выбросов, вызываемых неполным сгоранием.

1.6.1 Этапы сгорания древесины

Высушивание и пиролиз/газификация являются первыми этапами процесса сгорания твердого топлива. Однако относительное значение этих этапов зависит от применяемой технологии сжигания, характеристик топлива и условий процесса горения. Возможно разделение этапов высушивания/пиролиз/газификации, применяемое, например, при сжигании топлива со ступенчатой подачей воздуха. На установках сжигания биомассы большой мощности с непрерывной подачей топлива эти процессы

1. ОБЩИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЕНИЯ

происходят на различных участках колосниковой решетки. Однако на установках периодического действия имеется четкое разделение (также во времени) между этапами выделения летучих веществ и сгорания углей. На рис. 1.5 показана качественная схема процесса сжигания древесных частиц малых размеров.



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

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

Пиролиз можно определить как термическую деструкцию (выход летучих) в отсутствие подаваемого снаружи окисляющего вещества. Продуктами пиролиза являются в основном смола, уголь и газы с низким молекулярным весом. Также могут выделяться значительные количества CO и CO_2 . Переменные факторы, от которых зависят количество и свойства продуктов, образующихся в процессе пиролиза, включают вид топлива, температуру, давление, скорость нагрева и время реакции.

Выход летучих веществ из древесины начинается при температуре $200^\circ C$, и скорость выхода увеличивается с повышением температуры. Сначала происходит разложение гемицеллюлозы и затем, при более высокой температуре, разложение целлюлозы. При температуре $400^\circ C$, когда произошло полное выделение большинства летучих веществ, скорость выхода летучих компонентов резко возрастает. Однако при температуре $400-500^\circ C$ может наблюдаться низкая скорость выхода летучих, определяемая процессом разложения лигнина, происходящего в пределах всего температур-

ного диапазона, но вызывающего наибольшие потери основного веса при более высоких температурах.

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

Сгорание в идеальном случае можно определить как полное окисление топлива. Горячие газы, выделяемые при сгорании топлива, могут применяться для прямого нагрева в различных целях в установках сжигания топлива малой мощности, для нагрева воды в котлах систем центрального отопления малой мощности, для нагрева воды с целью выработки электроэнергии в установках большей мощности, в качестве источника технологического тепла или для нагрева воды в системах центрального теплоснабжения. Высушивание и пиролиз/газификация всегда являются первыми этапами процесса сгорания твердого топлива.

1.6.2 Наиболее важные переменные характеристики процесса сгорания биомассы

Горение биомассы представляет собой сложный процесс со многими переменными, которые прямо или косвенно воздействуют на уровни выбросов и эффективность использования энергии. Ниже дается краткое описание наиболее важных переменных характеристик этого процесса (в основном с использованием установок для сжигания биомассы большой мощности).

Механизмы теплопередачи. Теплообмен может осуществляться посредством теплопроводности, конвекции и излучения теплоты. Для обеспечения низкого уровня выбросов при неполном сгорании топлива необходимо минимизировать потери тепла в топочной камере посредством оптимизации переменных характеристик, оказывающих прямое воздействие на механизмы теплопередачи. Также для получения высокого теплового КПД необходимо обеспечить эффективный теплообмен между топочной камерой и впуском дымовой трубы.

Аккумуляция теплоты. Значительное количество теплоты аккумулируется в стенках топочной камеры, забирающих теплоту из объема топочной камеры на первоначальном этапе процесса горения. Это явление играет особенно важную роль при сжигании биомассы в установках малой мощности. Аккумуляция теплоты, передаваемой в окружающую среду со значительной задержкой во времени, используется в печах с аккумуляцией теплоты (теплоаккумулирующие печи). Однако на начальном этапе процесса горения может наблюдаться высокий уровень выбросов от неполного сгорания.

Изоляция. Передача теплоты происходит через стенки топочной камеры. Следовательно, температуру в топочной камере можно повысить, улучшив изоляцию камеры. Улучшить изоляцию топочной камеры можно посредством увеличения толщины изоляционного слоя или использования материала с лучшими изоляционными характеристиками. При этом следует определить целесообразность применения изоляции, которая занимает часть свободного пространства рабочего помещения и требует дополнительных затрат.

Предварительный подогрев воздуха. Температура топочной камеры может быть значительно повышена путем предварительного подогрева воздуха. Подаваемый воздух может быть предварительно подогрет посредством теплообмена с топочным газом после выпуска топочного газа из топочной камеры. Отбор теплоты непосредственно из

топочной камеры не даст требуемого эффекта, если только не ставится цель снижения температуры в соответствующей части топочной камеры путем переноса теплоты в другую часть камеры. Примером может служить предварительный подогрев вторичного воздуха за счет использования теплоты топливного слоя.

Коэффициент избытка воздуха. Любое топливо требует использования соответствующего количества воздуха (кислорода) с тем, чтобы обеспечить его стехиометрическое преобразование, т.е. при этом коэффициент избытка воздуха λ (лямбда) равен 1. Стехиометрическое преобразование топлива происходит, когда используется точное количество кислорода, необходимое для преобразования всего топлива при идеальных условиях. В применении к сжиганию биомассы коэффициент избытка воздуха должен значительно превышать 1 с тем, чтобы обеспечить эффективное смешение подаваемого воздуха и топливного газа. В установках малой мощности коэффициент избытка воздуха должен превышать 1,5. Это означает, что в топке будет иметься общее избыточное количество воздуха. По сравнению со стехиометрическим горением в этом случае температура будет значительно ниже, главным образом в результате нагревания избыточного воздуха. Поэтому при сжигании биомассы первостепенное значение имеет оптимальное смешение воздуха с топливом, позволяющее использовать более низкие коэффициенты избытка воздуха и повышать температуру горения. Эффективное смешение воздуха с топливом при очень низком избытке воздуха обеспечивается в установках, имеющих оптимальную конструкцию устройств впуска воздуха и современные оптимизированные системы управления технологическими процессами.

Вид топлива. Процесс горения зависит от характеристик топлива, в основном от его состава, содержания летучих компонентов/угля, тепловых характеристик, плотности, пористости, размеров и площади активной поверхности. **Состав топлива** оказывает значительное воздействие на величину ВТС и уровень выбросов (в основном при полном сгорании) (см. раздел 4.2) и играет важную роль в процессах озонения, вызывающих различные технологические проблемы. В установках периодического действия состав топлива постоянно изменяется в зависимости от степени сгорания топлива. Как правило, по сравнению с ископаемым углем биомасса характеризуется высоким **содержанием летучих компонентов** и малым количеством **угля**, образующихся при сжигании топлива, что делает биомассу топливом с высокой реактивной способностью.

Однако различные виды топливной биомассы имеют различное содержание летучих компонентов, что оказывает соответствующее воздействие на тепловые характеристики топлива. Тепловые характеристики топлива также зависят от типов химических структур и связей в различных видах топливной биомассы, что определяет значительные различия в выходе летучих в зависимости от температуры. Однако тепловые характеристики различных видов древесного топлива являются аналогичными. Различные виды топливной биомассы в значительной степени отличаются по **плотности** топливного материала; также имеются значительные различия между твердыми и мягкими породами деревьев. Древесина твердых пород, например березы, имеет более высокую плотность, что оказывает воздействие на значение отношения объема камеры к потребляемой энергии и характеристики горения топлива. Степень **пористости** топлива влияет на характеристики реактивности (потеря массы в единицу времени) топлива и, следовательно, на выход летучих. Размеры топлива являются важной переменной характеристикой при сжигании биомассы на установках большой мощности, в особенности в случаях, когда происходит увлечение частиц топлива топочным газом, как, например, при сжигании распыленного топлива. Более мелкие частицы топлива требуют более короткого времени пребывания в топочной камере. Важное значение имеет также степень однородности топлива: увеличение однородности топлива, степень которой повышается с уменьшением размеров его частиц, повышает эффективность управления технологическим процессом. Наконец, реактивная способность топлива также зависит от **площади активной поверхности**.

Влажность. Значение уровня влажности уже отмечалось в разделе 1.4. Однако в установках периодического действия имеется дополнительный фактор, осложняющий технологический процесс: содержание влаги непрерывно изменяется в зависимости от степени выгорания топлива. Влага высвобождается на этапе выхода летучих веществ, и содержание влаги уменьшается в зависимости от степени выгорания топлива. Поэтому негативное воздействие уровня влажности на процесс горения может быть значительным на первых этапах фазы выхода летучих веществ, что может приводить к повышению уровня выбросов от неполного сгорания топлива.

Температура горения. Ранее уже отмечалось значение достаточно высокой температуры горения. Однако в применениях с дозированным сжиганием топлива имеется дополнительный фактор, осложняющий технологический процесс: влажность и состав топлива непрерывно изменяются в зависимости от степени выгорания топлива. При этом изменяется адиабатическая температура горения. Адиабатическая температура горения повышается по мере сгорания топлива при постоянном коэффициенте избытка воздуха.

Однако так как уголь обладает значительно меньшей реактивной способностью, чем фракция летучих веществ, скорость сгорания топлива и потребность в кислороде будут значительно ниже. Поскольку обычно сложно эффективно регулировать количество подаваемого воздуха на этапе сгорания углей, в особенности если используется естественная тяга, коэффициент избытка воздуха будет довольно высоким. Это обстоятельство в сочетании со значительно более низкой скоростью сгорания топлива может привести к падению температуры в топочной камере ниже уровня, необходимого для полного сгорания топлива. Вместе с тем более высокая теплота сгорания углей в некоторой степени компенсирует значительно более низкую скорость сгорания топлива на этапе сгорания углей. **Время пребывания**, необходимое для полного сгорания топлива, непосредственно зависит от температуры горения и в определенной степени от времени смешения.

Конструкция. Из вышеприведенного описания различных переменных характеристик очевидно, что конструкция установки для сжигания топлива оказывает значительное воздействие на процесс горения, определяемое конструкцией и принципом работы топочной камеры, выбором материалов и возможностями управления технологическим процессом. Характеристики используемых **материалов**, такие как теплотворная способность, плотность, толщина, изоляционная способность, поверхностные характеристики, оказывают воздействие на величину температуры в топочной камере.

Теплообмен. Эффективный теплообмен необходим для получения высокого термического КПД. Необходимую интенсивность теплообмена можно получить путем оптимального размещения теплообменных поверхностей. Управление активным процессом теплообмена осуществляется с помощью систем управления, использующих такие переменные технологического процесса, как, например, количество воды, протекающее через котел.

Ступенчатая подача воздуха. Применение системы ступенчатой подачи воздуха обеспечивает одновременное снижение уровня выбросов от неполного сгорания и выбросов NO_x в результате разделения этапов выхода летучих компонентов и сгорания газовой фазы. Это повышает эффективность смешения топливного газа с вторичным воздухом горения, что уменьшает количество требуемого воздуха, снижая локальный и общий коэффициенты избытка воздуха и повышая температуру горения. Таким образом, уровень выбросов от неполного сгорания снижается в результате повышения температуры, которое увеличивает скорость элементарной реакции, и более эффективного процесса смешения, который уменьшает время пребывания, необходимое для смешения топлива и воздуха. Дополнительная информация содержится в разделе 4.5.5.

Распределение воздуха. Эффективное распределение воздуха имеет чрезвычайно важное значение для эффективного снижения выбросов от неполного сжигания, выбросов NO_x и выбросов в системах со ступенчатой подачей воздуха. Характер распределения первичного и вторичного воздуха в топочной камере и зоне факела оказывает воздействие на качество смешения воздуха с топливом и, следовательно, на время пребывания и значение температуры горения, необходимой для полного сгорания.

Подача топлива. Работа любых установок для сжигания топлива периодического действия будет более эффективной при повышении степени непрерывности процесса горения, при котором снижаются отрицательные эффекты начального этапа горения и этапа сгорания углей. Этот процесс частично реализуется вручную в топках котлов полунепрерывного действия, работающих на древесном топливе.

Распределение топлива. Распределение топлива в топочной камере, вызывающее уменьшение или увеличение площади активной поверхности, оказывает воздействие на процесс горения, соответственно понижая или повышая степень реактивности.

Распределение теплоты. Распределение теплоты тесно связано с теплообменом и распределением топлива и наряду с другими переменными оказывает воздействие на температуру горения в топочной камере и теплопередачу после топочной камеры.

Управление. Применение эффективных методов управления технологическими процессами позволяет минимизировать уровень выбросов и оптимизировать термический КПД. Разработаны различные методы управления процессом сжигания топлива (см. раздел 4.5.4). Эти методы могут основываться на измерениях параметров определенных соединений топочного газа или значений температуры, данные о которых передаются на контроллер процесса горения в объеме, необходимом для регулировки процесса горения, например посредством изменения количества воздуха, подаваемого в топочную камеру, и его распределения.

Одним из наиболее важных аспектов эксплуатации установок на биомассе большой мощности являются также проблемы, связанные с использованием низкокачественной дешевой топливной биомассы, которое часто приводит к образованию отложений и коррозии теплообменников и пароперегревателей и к дополнительным выбросам, вызываемым более высоким по сравнению с древесиной содержанием в топливной биомассе азота, серы, хлора, фтора, калия и натрия.

Из вышеприведенного описания можно заключить, что процесс горения и, соответственно, уровень выбросов и энергетический КПД зависят от большого числа переменных. Это следует учитывать при проектировании и эксплуатации любых установок, работающих на биомассе.

2 МЕТОДЫ ПРОМЫШЛЕННОГО СЖИГАНИЯ БИОМАССЫ

2.1 Введение

В настоящей главе описываются установки, предназначенные для сжигания топлива, имеющие номинальную тепловую мощность более 100 кВт. Топки таких установок обычно оснащены механическим или пневматическим устройством подачи топлива. Как правило, ручная подача топлива более не используется в связи с высокими затратами на содержание персонала и строгими ограничениями на выбросы газообразных загрязнений. Современные промышленные установки, предназначенные для сжигания топлива, оборудованы системами контроля технологических процессов, обеспечивающими полностью автоматическую эксплуатацию.

Существуют следующие основные технологии сжигания биомассы:

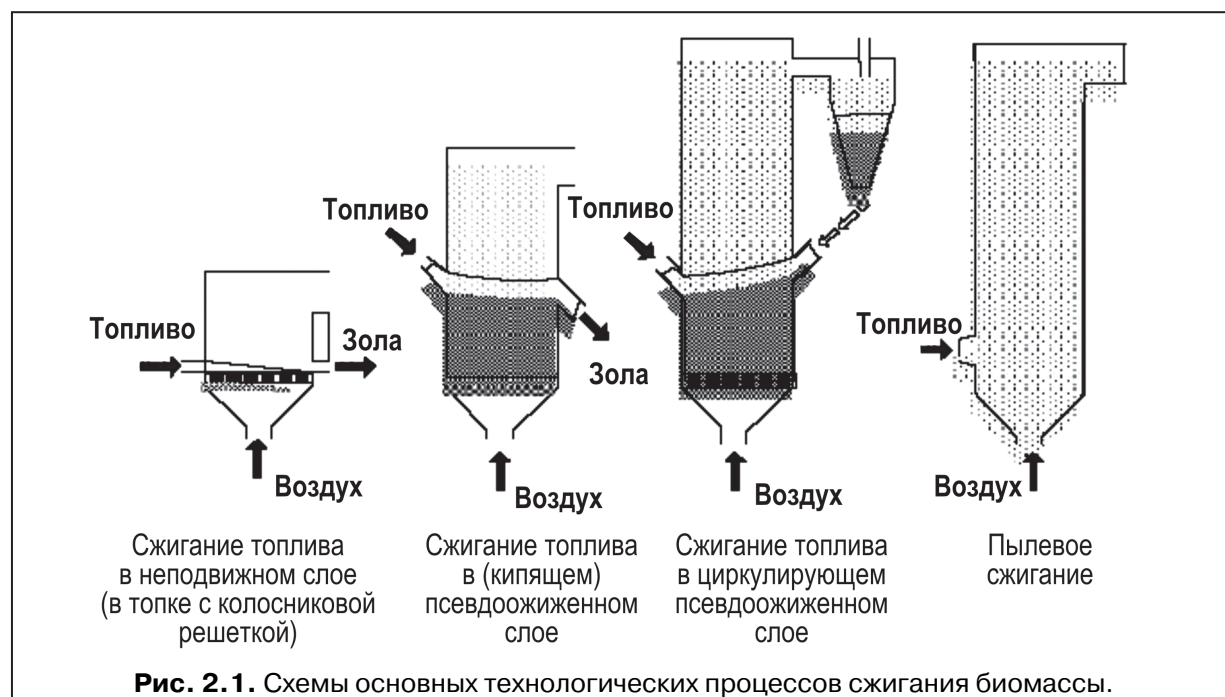
- сжигание топлива в неподвижном слое;
- сжигание топлива в псевдооживленном (кипящем и циркулирующем) слое;
- пылевое сжигание.

Схемы этих технологических процессов показаны на рис. 2.1 и описаны ниже.

Установки, предназначенные для сжигания топлива в неподвижном слое, включают топки с колосниковыми решетками при загрузке с нижней подачей топлива. Первичный воздух проходит через неподвижный слой топлива, в котором происходит подсушивание, газификация и обугливание топливного материала. Выделившиеся горючие газы сгорают после подачи вторичного воздуха, как правило, в зоне горения, отделенной от топливного слоя.

В топке с псевдооживленным слоем топливная биомасса сжигается в самоперемешивающейся взвеси газа и материала слоя, в который снизу подается воздух для горения. В зависимости от скорости псевдооживления различают сжигание топлива в псевдооживленном (кипящем) слое и циркулирующем псевдооживленном слое.

Пылевое сжигание может применяться для сжигания топлива, состоящего из мелких частиц (имеющих средний размер менее 2 мм). В топочную камеру подается смесь то-



плива и первичного воздуха горения. Топливо сгорает во взвешенном состоянии, и после подачи вторичного воздуха происходит выгорание газов. Существуют также различные варианты этих технологий. Примерами могут служить установки, предназначенные для сжигания топлива с забрасывателями-распределителями и циклонными форсунками.

2.2 Сжигание топлива в неподвижном слое

2.2.1 Топки с колосниковыми решетками

Существуют различные типы колосниковых решеток: неподвижные решетки, подвижные решетки, решетки с движущимся полотном, вращающиеся решетки и вибрационные решетки. Эти технологии имеют определенные преимущества и недостатки в зависимости от свойств топлива, поэтому выбор метода сжигания топлива следует производить на основе тщательного анализа.

Колосниковые решетки предназначены для сжигания топлива из биомассы с высоким содержанием влаги, различными размерами частиц (с ограничением по нижнему пределу количества мелких частиц в топливной смеси) и высокой зольностью. Возможно использование смесей различных видов древесины, однако существующие технологии не позволяют сжигать смеси древесного топлива с соломой, злаками и травами из-за различий в характеристиках горения, низкой влажности и низкой точки плавления золы. Имеющая эффективную конструкцию и хорошо управляемая колосниковая решетка обеспечивает равномерное распределение топлива и слоя углей по всей поверхности решетки. Это необходимо для обеспечения равномерной подачи первичного воздуха на различные участки над поверхностью решетки. Неравномерная подача первичного воздуха может вызывать ошлакование, образование чрезмерного количества зольной пыли и увеличивать потребность в избыточном кислороде, необходимом для полного сгорания топлива. Также перемещение топлива по решетке должно быть как можно более плавным и равномерным с тем, чтобы слой углей на решетке оставался максимально ровным и однородным без образования «провалов» и сепарации зольной пыли несгоревших частиц.

Технология, обеспечивающая решение этих задач, предусматривает использование колосниковых решеток с непрерывно движущимся полотном, систему контроля высоты топливного слоя (например, с помощью инфракрасных лучей) и вентиляторов первичного воздуха с регулированием частоты вращения, предназначенных для подачи воздуха на различные участки решетки. Разделение подачи первичного воздуха по участкам необходимо для того, чтобы обеспечить регулирование подачи определенного количества воздуха в зоны, в которых происходят высушивание, газификация и обугливание топлива (рис. 2.2). Такое раздельное регулирование подачи первичного воздуха обеспечивает эффективную работу топок с колосниковыми решетками при частичной нагрузке, составляющей до 25% номинальной нагрузки топки, и позво-



Часть А: Сжигание биомассы

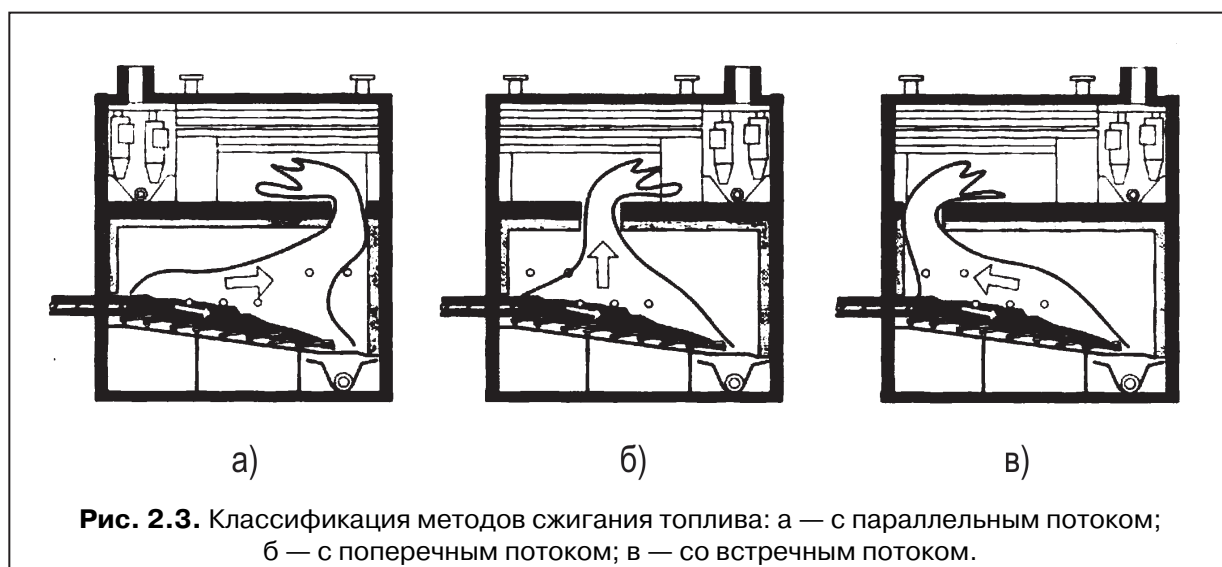
ляет поддерживать необходимое содержание воздуха (обеспечивающее поддержание восстановительной атмосферы в камере первичного воздуха, необходимой для работы с низким уровнем выбросов NO_x). В топках с колосниковыми решетками также может применяться водяное охлаждение, предотвращающее ошлакование и продлевающее срок службы материалов.

В топке с колосниковой решеткой также необходимо обеспечить ступенчатое сжигание топлива посредством разделения топки на первичную и вторичную топочные камеры с тем, чтобы предотвратить смешение подаваемого вторичного воздуха с ранее поданным воздухом и разделить зоны газификации и окисления. Так как смешение воздуха и топочного газа в первичной топочной камере не является оптимальным из-за низкой турбулентности, необходимой для сохранения слоя углей на решетке в спокойном состоянии, конфигурация вторичной топочной камеры и режим подачи вторичного воздуха должны обеспечивать максимально полное смешение топочного газа с подаваемым воздухом. Более высокое качество смешения топочного газа с вторичным воздухом горения уменьшает количество избыточного воздуха, необходимого для полного сгорания, и обеспечивает более эффективное сгорание топлива. Качество смешения можно повысить посредством устройства относительно узких каналов, через которые с высокой скоростью проходит топочный газ и в которые через форсунки, распределенные по периметру канала, подается с высокой скоростью вторичный воздух. Эффективное смешение топочного газа со вторичным воздухом также обеспечивается с помощью вихревого потока или закрученного потока.

В топках с колосниковыми решетками используются различные системы сжигания топлива, основанные на направлении перемещения топлива и потока топочного газа (рис. 2.3):

- со встречным потоком (направление факела противоположно направлению перемещения топлива);
- с параллельным потоком (направление факела совпадает с направлением перемещения топлива);
- с поперечным потоком (удаление топочного газа в средней части топки).

Сжигание топлива со встречным потоком является наиболее приемлемым методом сжигания топлива с низкой теплотой сгорания (влажная кора, древесная щепа, опилки). Так как горячий топочный газ проходит над поверхностью влажной топливной биомассы, поступающей в топку, конвекция, создаваемая в топке, ускоряет процесс высушивания и перенос водяного пара из слоя топлива (дополняя основной радиационный теплообмен с поверхностью топлива). Этот метод требует эффективного



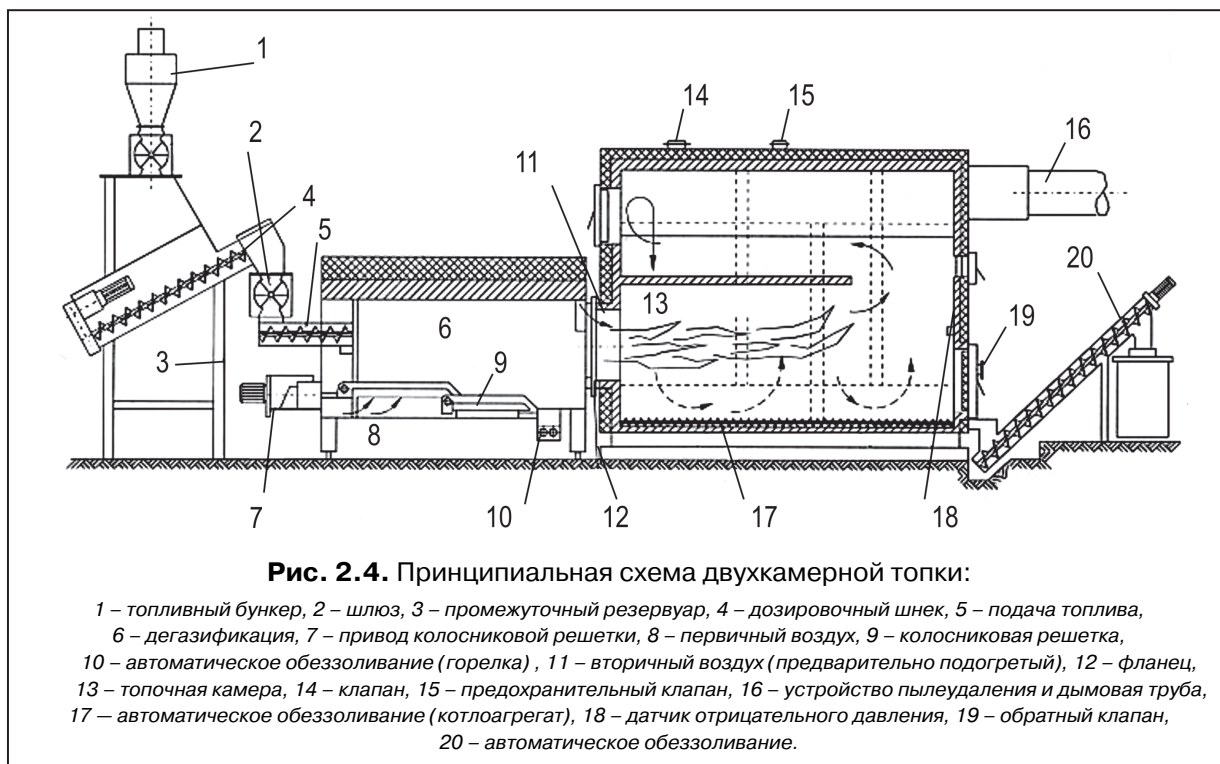
перемешивания топочного газа с вторичным воздухом, которое предотвращает образование сгустков, обогащенных несгоревшими газами, поступающих в котлоагрегат и повышающих уровень выбросов.

Сжигание топлива с параллельным потоком применяется при сжигании сухого топлива, такого как древесные отходы или солома, или используется в установках с предварительным подогревом первичного воздуха. Этот метод увеличивает время пребывания несгоревших газов, выделившихся из слоя топлива, и позволяет снизить содержание NO_x в результате лучшего контакта топочного газа со слоем топлива в задней части колосниковой решетки. При использовании этого метода может увеличиваться унос зольной пыли, который снижается посредством создания соответствующих условий потока (в топке соответствующей конструкции).

Установка с поперечным потоком, представляющая собой сочетание установки с параллельным потоком и установки со встречным потоком, специально предназначена для применения в установках с вертикальными вторичными топочными камерами. Для того, чтобы обеспечить эффективное регулирование температуры в топке, используются камеры рециркуляции топочного газа и топочные камеры с водяным охлаждением. Также используются различные сочетания этих технологий. Водяное охлаждение позволяет сократить объем топочного газа, уменьшить спекание золы на стенках топки и во многих случаях продлить срок службы изоляционного кирпича. Если применяется только сухая топливная биомасса, можно использовать топочные камеры с металлическими стенками (без кирпичной изоляции). Сжигание влажной топливной биомассы осуществляется в топках с кирпичной изоляцией, действующей в качестве аккумулятора тепла и выравнивающей уровень влажности и колебания температуры горения, что обеспечивает эффективное выгорание топочного газа. Рециркуляция топочного газа позволяет улучшить смешивание горючих газов с воздухом и регулируется с более высокой точностью, чем параметры поверхности с водяным охлаждением. Недостатком этого процесса является увеличение объема топочного газа в секциях топки и котла. Рециркуляцию топочного газа следует осуществлять после осаждения зольной пыли с тем, чтобы предотвратить ее осаждение в каналах рециркуляции. Также рециркуляцию топочного газа не следует выполнять в прерывистом режиме, чтобы не допустить конденсацию газа и коррозию материала каналов или лопастей вентилятора.

Двухкамерная топка

В двухкамерной топке первичное и вторичное сжигание топлива осуществляется в физически отделенных друг от друга топочных модулях. Двухкамерные топки применяют, когда в качестве топлива используется относительно влажная древесная щепа. Двухкамерная топка включает шнековый питатель топлива с защитой от распространения пламени в обратном направлении, камеру с улучшенной изоляцией с колосниковой решеткой (обычно с параллельным потоком) и отдельный котельный модуль. В камере с улучшенной изоляцией (которую называют предварительной топкой или предварительной печью), в которую вентилятором подается первичный воздух, происходит сжигание или частичная газификация топлива. Топливо сжигается небольшими дозами. С помощью вторичного воздуха топливные газы и топочные газы подаются через фланец в котельный модуль. В установке с такой конфигурацией окисление происходит в котельном модуле перед поступлением горячих газов в теплообменник. Таким образом, в двухкамерных топках зоны пиролиза и газификации и зона окисления в большей степени разделены в пространстве, чем в других установках, предназначенных для сжигания топлива. Имеется возможность создания турбулентных зон в трубе топочного газа, что позволяет дополнительно улучшить смешение воздуха горения и, таким образом, повысить степень выгорания топлива. Вместе с тем недостаточная тепловая изоляция и отсутствие водяного охлаждения топки могут повысить тепловые потери.

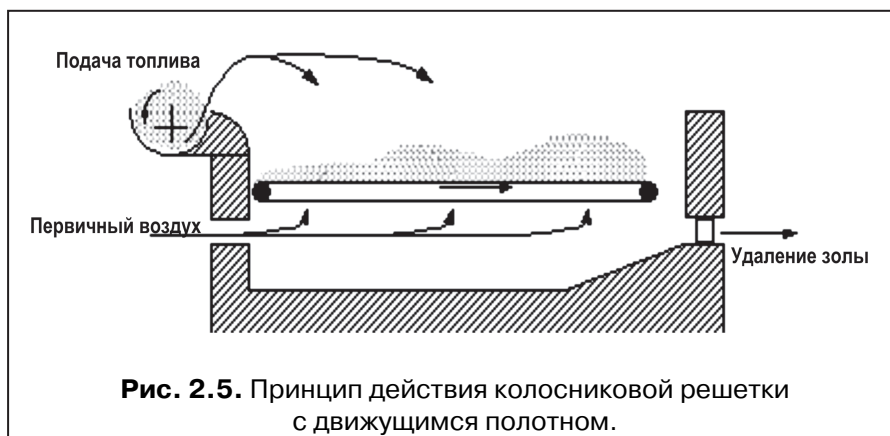


Предварительную топку (или предтопок) целесообразно использовать при наличии действующего котлоагрегата, что является экономичным решением задачи перевода котла с невозобновляемого топлива (мазута, дизельного топлива или природного газа) на возобновляемое (древесину и т.п.). Предварительная топка устанавливается, как правило, перед и иногда под существующим котлоагрегатом. Наилучшие результаты достигаются в случае, когда предварительная топка и котлоагрегат имеют аналогичную конструкцию. Описываемая установка занимает большую площадь по сравнению с установками других типов. Другие недостатки включают недостаточно эффективный отбор тепла на первом этапе сжигания топлива, а также образование шлака и в некоторых случаях высокий уровень выбросов NO_x .

На рис. 2.4 показан принцип действия предварительной топки, предназначенной для сжигания древесной щепы.

Колосниковая решетка с движущимся полотном

Колосниковые решетки с движущимся полотном собираются из колосниковых элементов, образующих бесконечную ленту, движущуюся (подобно эскалатору) через камеру сгорания (рис. 2.5). Топливо подается с одного из концов камеры сгорания на решетку, например винтовыми конвейерами, или распределяется по решетке забрасывателями-распределителями, подающими топливо в камеру сгорания (рис. 2.6). Слой топлива, остающийся неподвижным, перемещается через камеру сгорания вместе с ре-



шеткой. В конце камеры сгорания решетка очищается от золы и загрязнений, и происходит поворот ленты в обратную сторону (автоматическое золоудаление). На обратном пути колосники решетки охлаждаются первичным воздухом для предотвращения перегрева и минимизации износа. Скорость движения решетки с движущимся полотном непрерывно регулируется с тем, чтобы обеспечить полное сгорание углей.

Преимуществами установок с колосниковыми решетками с движущимся полотном являются равномерные условия сгорания древесной щепы и гранулированного древесного топлива и низкий уровень выбросов пыли благодаря устойчивому положению почти неподвижного слоя углей. Колосниковая решетка удобна в эксплуатации и техническом обслуживании.



Рис. 2.6. Конструкция топки с колосниковой решеткой с движущимся полотном, подача топлива в которую производится забрасывателем-распределителем.

Однако по сравнению с топками с подвижными колосниковыми решетками топки с решетками с движущимся полотном, в которых не осуществляется шурование слоя углей, характеризуются более длительным временем сгорания топлива. Также требуется подача большего количества первичного воздуха для обеспечения полного сгорания топлива (что ограничивает возможности снижения выбросов NO_x в результате принятия первичных мер). Неоднородность материала топливной биомассы, не подвергаемого перемешиванию, может вызвать сводообразование и неравномерное распределение топлива по поверхности решетки. Этой проблемы можно избежать, используя забрасыватели-распределители, которые осуществляют перемешивание топлива при его подаче.

Топки с неподвижными колосниковыми решетками

Неподвижные решетки (рис. 2.7) применяются только в установках малой мощности. В этих системах перемещение топлива осуществляется при подаче топлива и под воздействием силы тяжести (при наклоне решетки). Так как перемещение и распределение топлива на неподвижной колосниковой решетке не поддается регулированию, эта технология более не применяется в современных установках, предназначенных для сжигания топлива.



Рис. 2.7. Наклонная неподвижная колосниковая решетка.

Наклонные и горизонтальные подвижные колосниковые решетки

Подвижная колосниковая решетка представляет собой наклонную решетку, состоящую из чередующихся фиксированных и подвижных колосниковых элементов (рис. 2.8 – 2.10). Чередуя горизонтальное поступательное и возвратное перемещение подвижных секций, топливо передвигают по поверхности решетки. Таким образом осуществляется перемешивание несгоревших и сгоревших частиц топлива, обновление поверхности топливного слоя и достигается более равномерное распределение топлива по поверхности решетки (что необходимо для обеспечения равномерного распределения первичного воздуха в слое топлива). Как правило, решетка делится на несколько секций, которые могут двигаться с различной скоростью в за-



висимости от стадии сгорания топлива (рис. 2.9). Перемещение колосников осуществляется с помощью гидроцилиндров. Колосники решетки, изготовленные из жаропрочных стальных сплавов, имеют узкие каналы в боковых стенках, через которые подается первичный воздух. Колосники должны иметь минимально возможную ширину с тем, чтобы максимально эффективно обеспечить распределение воздуха по всему слою топлива.

Топки с подвижными колосниковыми решетками могут использоваться для сжигания различных видов биотоплива. Топки с подвижными решетками с воздушным охлаждением, в

которых первичный воздух используется для охлаждения колосников решетки, применяются для сжигания влажной коры, опилок и древесной щепы. Для сжигания сухого биотоплива и биотоплива с низкой температурой спекания золы рекомендуется использовать установки с колосниковыми решетками с водяным охлаждением. В отличие от систем с колосниковыми решетками с движущимся полотном в этих топках более сложно точно регулировать периодичность перемещения колосников решетки. Чрезмерно высокая периодичность перемещения колосников может привести к высокой концентрации несгоревшего углерода в золе или недостаточному покрытию решетки. Контроль высоты слоя топлива, выполняемый с помощью инфракрасных лучей на различных участках решетки, позволяет осуществлять точное регулирование периодичности перемещения колосников. Зола удаляется под решеткой во влажном или сухом виде. Как правило, управление работой установок осуществляется в полностью автоматическом режиме.

На горизонтальной подвижной решетке слой топлива размещается в строго горизонтальном положении благодаря расположенным диагонально колосникам решетки (рис. 2.11). Преимущество этой технологии состоит в том, что предотвращается некон-

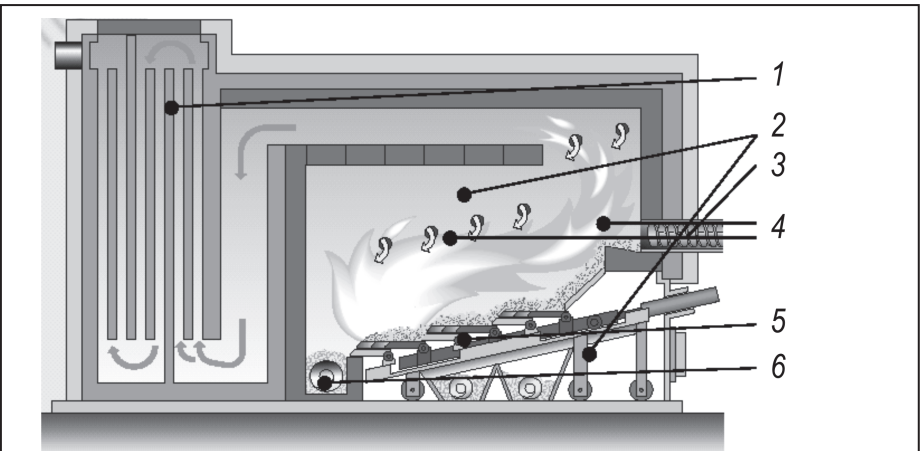


Рис. 2.9. Наклонная подвижная решетка:
 1 — теплообменник, 2 — подача воздуха для горения, 3 — подача топлива,
 4 — элементы распределения топлива, 5 — подвижная решетка,
 6 — автоматическое золоудаление.



Рис. 2.10. Изображение наклонной подвижной решетки.

тролируемое перемещение топлива по решетке под воздействием силы тяжести и повышается эффективность шурования слоя топлива при перемещении колосников, что способствует более однородному распределению топливного материала по поверхности решетки и уменьшает образование шлака в результате возникновения горячих пятен. Преимуществом горизонтальной подвижной решетки является также возможность уменьшения общей высоты слоя. С тем, чтобы избежать проваливания частиц золы и топлива

сквозь колосники решетки, необходимо производить регулировку решетки с предварительным натягом таким образом, чтобы устранить зазоры между колосниками.

Вибрационные решетки

Топка с вибрационной решеткой включает наклонную ребристую трубу, помещенную на пружины (рис. 2.12). Подача топлива в топочную камеру производится с помощью забрасывателей, винтовых конвейеров или гидравлических питателей. В зависимости от типа процесса сжигания топлива два или более вибрационных устройств транспортируют топливо и золу к месту удаления золы.

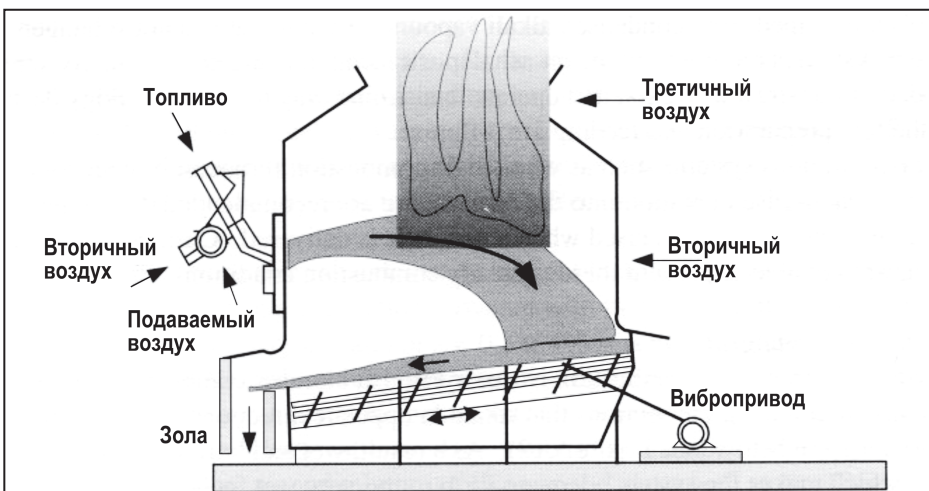
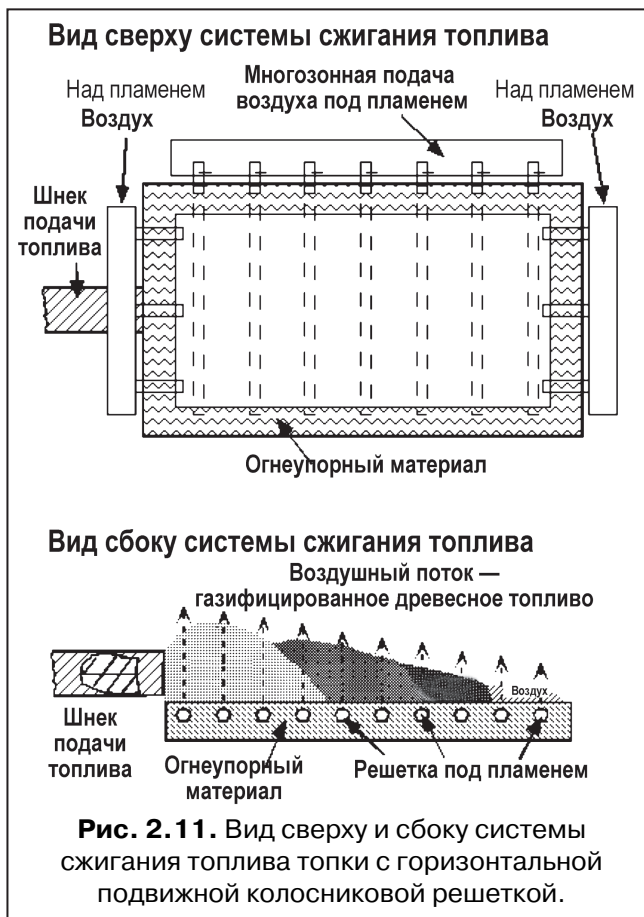
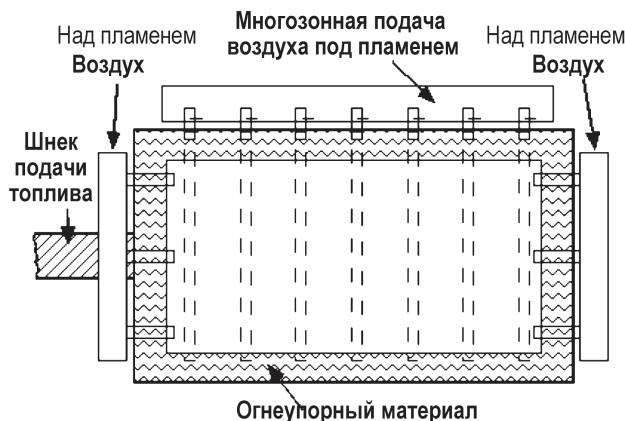


Рис. 2.12. Схема вибрационной колосниковой решетки с подачей топлива забрасывателем-распределителем.

Короткое периодическое вибрационное действие решетки (в течение 5–10 секунд каждые 15–20 минут)



Вид сверху системы сжигания топлива



Вид сбоку системы сжигания топлива

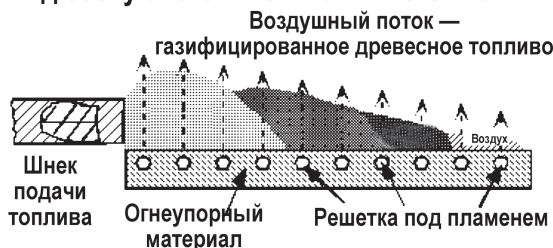


Рис. 2.11. Вид сверху и сбоку системы сжигания топлива топки с горизонтальной подвижной колосниковой решеткой.

Часть А: Сжигание биомассы

предотвращает образование крупных частиц шлака, поэтому метод с использованием этой решетки часто применяют для сжигания топлива, склонного к спеканию и шлакообразованию (например, соломы, древесных отходов).

Использование вибрационных колосниковых решеток позволяет получить значительно более высокий по сравнению со сжиганием топлива в псевдоожиженном слое КПД котла (до 92%). Очень низкое потребление энергии и малый износ деталей топочной камеры обеспечивают низкие эксплуатационные затраты. Недостатками вибрационных решеток являются высокий уровень выбросов зольной пыли, вызываемых вибрацией, более высокий уровень выбросов CO в результате периодического нарушения слоя топлива и неполное сгорание донной золы в результате недостаточно эффективного регулирования транспортировки топлива и золы.

Вращающаяся колосниковая решетка с нижней подачей топлива

Сжигание топливной биомассы на вращающейся колосниковой решетке с нижней подачей топлива является новой финской технологией сжигания топлива из биомассы, предусматривающей использование конусообразных секций колосниковой решетки, вращающихся в

противоположных направлениях, с нижней подачей воздуха (рис. 2.13, 2.14). Эта система, обеспечивающая эффективное смешение влажного и горящего топлива, может использоваться для сжигания высоковлажного топлива, такого как кора, опилки и щепа (с содержанием влаги до 65%_{в.о.}). Образующиеся горючие газы сгорают во вторичном воздухе в отдельной горизонтальной или вертикальной камере сгорания. Вариант установки в горизонтальном исполнении используется для выработки горячей воды или пара в котлах с номинальной мощностью от 1

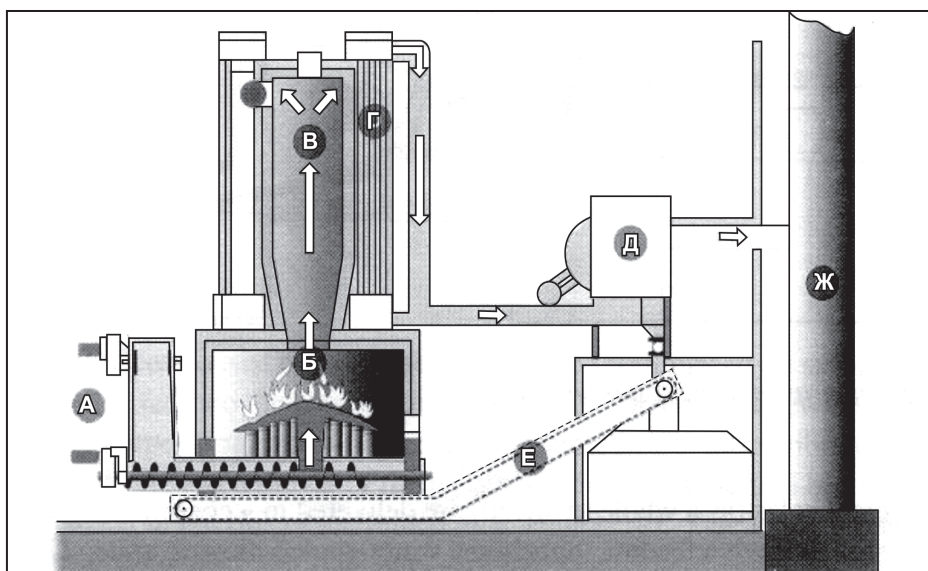


Рис. 2.13. Вращающаяся колосниковая решетка с нижней подачей топлива:

А — подача топлива, Б — первичная топочная камера, В — вторичная топочная камера, Г — котел, Д — скруббер топочного газа, Е — золоудаление, Ж — дымовая труба.

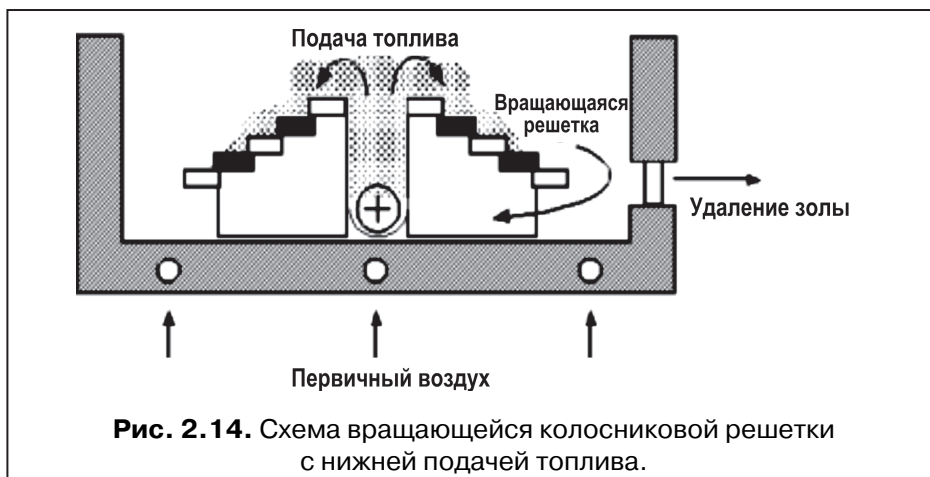


Рис. 2.14. Схема вращающейся колосниковой решетки с нижней подачей топлива.

до 10 МВт_т. Вариант установки в вертикальном исполнении применяется в водогрейных котлах мощностью от 1 до 4 МВт_т. Так как топливо подается на решетку снизу винтовым конвейером (как в топках с нижней подачей топлива), размер частиц топлива не должен превышать 50 мм.

Установки, предназначенные для сжигания топливной биомассы на вращающейся колосниковой решетке с нижней подачей топлива, также могут использоваться для сжигания смеси твердого топлива и активного ила. Установка оснащена системой компьютерного управления, обеспечивающей работу установки в полностью автоматическом режиме.

Вращающаяся конусная топка

Основным элементом конструкции конусной печи является вращающаяся с низкой скоростью вогнутая конусная решетка (рис. 2.15). Вращающийся конус образует бесконечную решетку с самошурованием топлива, которая обеспечивает эффективное перемешивание и быстрое возгорание различных видов топлива, состоящих из частиц различных размеров и имеющих различную влажность. Вращающиеся конусные печи были разработаны в Германии и используются до настоящего времени для сжигания древесных отходов и угля. Топки поставляются для использования с котлоагрегатами номинальной мощностью от 0,4 до 50 кВт.

Топливо загружается сверху через двухступенчатый герметизированный загрузочный люк. Первичный воздух поступает на решетку через колосники только на участках решетки, покрытых топливом. Тщательное перемешивание слоя углей дает возможность получить коэффициент избытка первичного воздуха $\lambda =$ от 0,3 до 0,6, что позволяет использовать топливо с низкой температурой плавления золы (во вращающемся конусе газификация происходит при температуре менее 800°C). Вторичный воздух подается по касательной с высокой скоростью в цилиндрическую вторичную топочную камеру, создавая вихревой поток, обеспечивающий эффективное смешение топочного газа с воздухом и эффективное отделение зольной пыли от топочного газа. Изготовленные из стали стенки топки охлаждаются водой, что обеспечивает эффективный контроль температурного режима в зоне окисления и предотвращение зольных загрязнений. Общий коэффициент избытка воздуха при сжигании топлива λ может поддерживаться в диапазоне от 1,2 до 1,4, что является очень низким значением для печей с неподвижным слоем топлива и обеспечивает высокую полноту сгорания.

Недостатки этой передовой технологии сжигания топлива следующие:

- ограниченный опыт использования различных видов биотоплива при различных нагрузках, а также отсутствие достаточных данных об износе решетки и деталей печи;
- для розжига топлива требуется дополнительная горелка в связи с тем, что применяется водяное охлаждение стенок печи;



Часть А: Сжигание биомассы

- необходимость периодического останова печи для удаления крупных частиц золы, накапливающихся во внутреннем пространстве печи (эта операция выполняется автоматически установленным грейферным устройством); периодичность очистки зависит от количества минеральных примесей, содержащихся в топливе.

2.2.2 Топки с нижней подачей топлива

Топки с нижней подачей топлива (рис. 2.16 – 2.18) используются для сжигания топливной биомассы низкой зольности (древесная щепа, опилки, древесные гранулы), состоящей из мелких частиц (до 50 мм). Максимальная допустимая влажность ограничивается 40%, так как

вся испаряющаяся влага проходит через неподвижный слой топлива и в случае чрезмерно высокой влажности топлива оказывает значительное воздействие на концентрацию кислорода. Топливная биомасса высокой зольности из коры, соломы или злаковых требует использования более эффективной системы золоудаления. Также частицы спекшейся или расплавленной золы, покрывающие неподвижный слой топлива, могут вызывать определенные проблемы при эксплуатации топок с нижней подачей топлива, возникающие при нестабильных условиях горения, когда топливо и воздух пробиваются через покрытую золой поверхность.

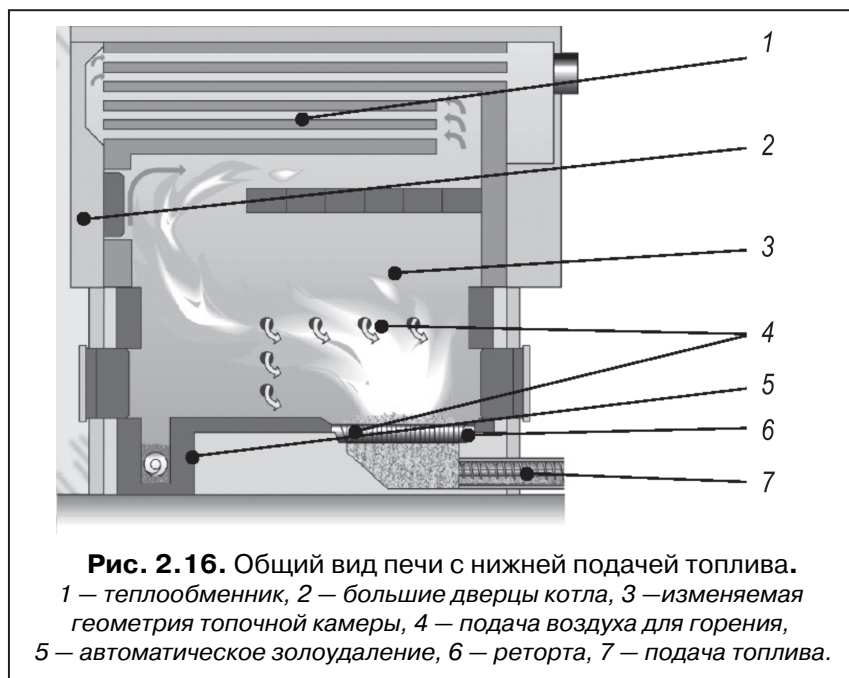


Рис. 2.16. Общий вид печи с нижней подачей топлива.
1 – теплообменник, 2 – большие дверцы котла, 3 – изменяемая геометрия топочной камеры, 4 – подача воздуха для горения, 5 – автоматическое золоудаление, 6 – реторта, 7 – подача топлива.

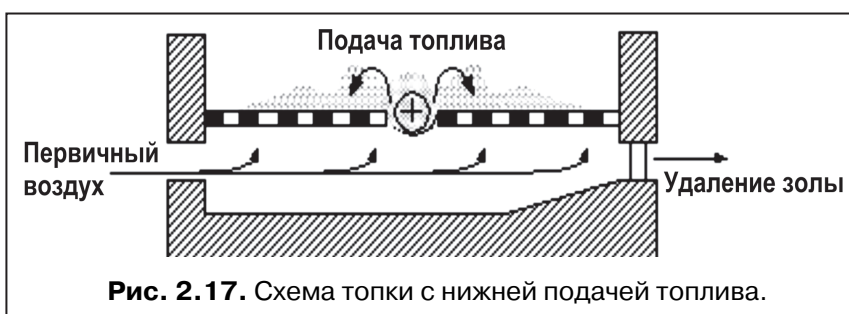


Рис. 2.17. Схема топки с нижней подачей топлива.

Использование топок с нижней подачей топлива позволяет получить относительно высокие значения КПД котла (от 80 до 85%). Имеются как одношнековые, так и многошнековые системы подачи топлива. Одношнековые питатели используются в установках мощностью до 2 МВт_т, а многошнековые — в установках мощностью до 5 МВт_т. Преимуществом топок с нижней подачей топлива является эффективная работа установок при частичных нагрузках и простое управление процессом загрузки топлива, что позволяет осуществлять регулирование нагрузки легче и быстрее, чем в установках с колосниковыми решетками.



Рис. 2.18. Топка с нижней подачей топлива

Новая австрийская разработка — топка с нижней подачей топлива с вихревой камерой продуктов сгорания, в которой сильный вихревой поток вторичного воздуха создается вентилятором специальной конструкции, оснащенным вращающейся цепью (рис. 2.19).



Рис. 2.19. Конструкция вихревой камеры продуктов сгорания с индуцируемым вихревым потоком.

2.3 Сжигание топлива в псевдоожиженном слое

Установки сжигания топлива в псевдоожиженном слое (ПС) были впервые применены в 1960 г. для сжигания городских и промышленных отходов. С тех пор в различных странах мира было построено более 300 коммерческих установок. В технологическом отношении следует различать псевдоожиженный (кипящий) слой (ПКС) и циркулирующий псевдоожиженный слой (ЦПС). Установка с псевдоожиженным слоем состоит из цилиндрического сосуда с перфорированной нижней решеткой, заполненного интенсивно перемешиваемым взвешенным потоком первичного воздуха слоем гранулированного горячего инертного материала и топлива. Наиболее распространенными материалами псевдоожиженного слоя являются кремнезем (песок) и доломит или известняк. Инертный материал псевдоожиженного слоя составляет 90–98% смеси. Первичный воздух горения, поступающий в печь снизу через воздухораспределительную решетку, псевдоожижает слой, превращая его в «кипящую» массу частиц и пузырьков воздуха. Высокие интенсивность теплообмена и эффективность смешения материала в слое создают благоприятные условия для полного сгорания топлива с низким коэффициентом избытка воздуха ($\lambda =$ от 1,1 до 1,2 в установках с ЦПС и от 1,3 до 1,4 в установках с ПКС). В установках с ПКС поддерживается низкая температура (как правило, 800-900°C), что предотвращает спекание золы в слое и снижает выбросы NO_x . В установках с неподвижным слоем топлива температура горения обычно на 100-200°C выше, чем в установках с псевдоожиженным слоем.

Благодаря высокой степени перемешивания, достигаемой в псевдоожиженном слое, установки, предназначенные для сжигания топлива в ПС, могут успешно использоваться для сжигания различных топливных смесей (например, смесей древесины и соломы), однако их возможности ограничивают размеры частиц топлива и загрязняющие вещества, содержащиеся в топливе. Поэтому для обеспечения надежной работы установки необходимо использовать соответствующую систему предварительной обработки топлива, включающую уменьшение размеров частиц топлива и отделение металлических включений. Как правило, рекомендуется использовать топливо с размером частиц до 40 мм для сжигания в установках с ЦПС и топливо с размером частиц до 80 мм в установках с ПКС. Эффективность работы установок с ПС при частичных нагрузках ограничивается параметрами оживания слоя топлива.

Установки, предназначенные для сжигания топлива в псевдоожиженном слое, имеют достаточно длительное время розжига (до 15 часов), который осуществляется с использованием нефтяных или газовых форсунок. Что касается уровня выбросов, то в установках с ПС можно обеспечить низкий уровень выбросов NO_x .

благодаря эффективной ступенчатой подаче воздуха, высокой степени смешения и низкой потребности в избыточном воздухе. Использование добавок (например, известняка для связывания серы) дает хорошие результаты благодаря эффективному смешению, обеспечиваемому в псевдоожигенном слое. Низкая потребность в избыточном воздухе повышает полноту сгорания и снижает объем дымовых газов. Благодаря этим характеристикам ПС является более приемлемым для использования в установках большой мощности (в котлоагрегатах мощностью более 30 МВт). Как правило, эксплуатационные затраты при использовании ПС в установках меньшей мощности являются значительно более высокими по сравнению с установками с неподвижным слоем топлива. Недостатком установок, предназначенных для сжигания топлива в ПС, является высокая пылевая нагрузка и унос большого количества пыли с дымовыми газами, что делает необходимым использование эффективных пылеосадитетелей и регулярную чистку систем котлоагрегата. Материал псевдоожигенного слоя также теряется с золой, что делает необходимым регулярное пополнение загруженного в установку материала слоя.

2.3.1 Сжигание топлива в псевдоожигенном (кипящем) слое (ПКС)

Печи с ПКС представляют интерес для использования в котельных установках номинальной мощностью более 20 МВт. В печах с ПКС (рис. 2. 20) материал слоя помещается в нижней части печи. Первичный воздух, подаваемый через распределительную тарелку форсунки, флюидизирует (псевдоожигает) материал слоя. В качестве материала псевдоожигенного слоя обычно используется кремнеземный песок с частицами диаметром около 1 мм; скорость потока воздуха, подаваемого для псевдоожигения слоя, составляет от 1,0 до 2,5 м/с. Вторичный воздух подается через несколько групп впускных отверстий с форсунками, расположенными горизонтально в верхней части печи (надслойной секции), обеспечивая ступенчатую подачу воздуха, позволяющую снизить выбросы NO_x . В отличие от печей с ПКС, использующих уголь в качестве топлива, топливная биомасса, имеющая более высокую реактивную способность по сравнению с углем, подается не на слой топлива, а в слой топлива по наклонным желобам из топливного бункера. Так как содержание топлива составляет только 1-2% общего количества материала слоя, перед введением топлива слой разогревается (внутри или снаружи). Преимуществом печей с ПКС является их гибкость в отношении размера частиц и уровня влажности топливной биомассы. Также возможно использование смесей из различных видов биомассы и их совместное сжигание с другими видами топлива. Один из существенных недостатков печей с ПКС — ограничен-

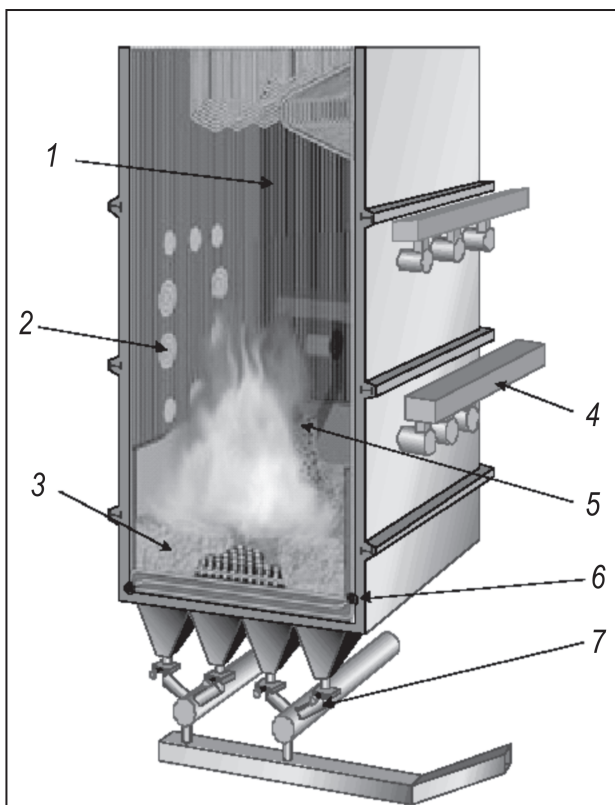


Рис. 2.20. Котлоагрегат с ПКС производства фирмы Kvaerner:

1 — топка котлоагрегата, 2 — нефтяные форсунки, 3 — псевдоожигенный слой, 4 — воздух острого дутья, 5 — подача топлива, 6 — первичный воздух, 7 — удаление зольного остатка.

ные возможности при работе с неполной нагрузкой — устранен в современных печах посредством разделения слоя топлива на зоны или ступени.

2.3.2 Сжигание топлива в циркулирующем псевдооживленном слое (ЦПС)

Увеличение скорости потока воздуха до 5-10 м/с и использование более мелких частиц песка (0,2-0,4 мм) позволяют создать циркулирующий псевдооживленный слой. Частицы песка, увлекаемые топочным газом, улавливаются в горячем циклоне или ударном сепараторе с элементами швеллерной конфигурации (U-beam separator) и подаются обратно в камеру сгорания (рис. 2.21).

Регулирование температуры слоя (800-900°C) осуществляется с помощью внешних теплообменников, охлаждающих используемый песок, или стенок с водяным охлаждением. Более высокая турбулентность слоя в печах с ЦПС повышает эффективность теплообмена и обеспечивает более однородное распределение температуры в слое. Это позволяет обеспечить стабильные условия сжигания топлива, эффективное регулирование ступенчатой подачи воздуха и размещение поверхностей нагрева в верхней части печи. Недостатками печей ЦПС являются их большие размеры и, соответственно, более высокая стоимость, еще более высокая по сравнению с установками с ПКС пылевая нагрузка и унос большего количества пыли с топочным газом, большие потери с золой материала слоя и необходимость использования мелких частиц топлива (диаметром от 0,1 до 40 мм), что часто увеличивает затраты на предварительную обработку топлива. Также ограничены возможности установки при работе с частичной нагрузкой. Печи ЦПС, имеющие высокую удельную эффективность теплообмена и более низкую скорость потока топочного газа, представляют интерес для использования в установках мощностью более 30 МВт_т (возможно проектирование устройств очистки котлоагрегатов и топочного газа меньших размеров).



Рис. 2.21. Схематическое изображение процесса ЦПС.

2.4 Пылевое сжигание

В установках, предназначенных для пылевого сжигания, процесс горения протекает, когда топливо находится во взвешенном состоянии. Воздух, подаваемый для флюидизации, используется в качестве первичного воздуха. Розжиг печи производится с помощью вспомогательной форсунки. Когда температура горения достигает определенного значения, начинается загрузка биомассы и вспомогательная форсунка выключается.

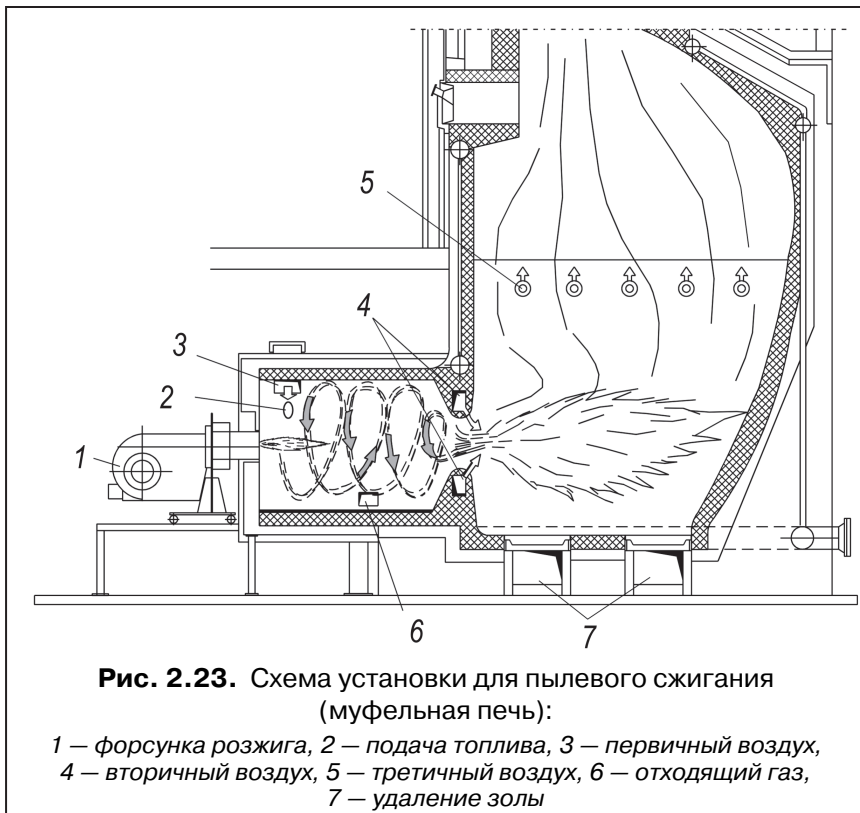
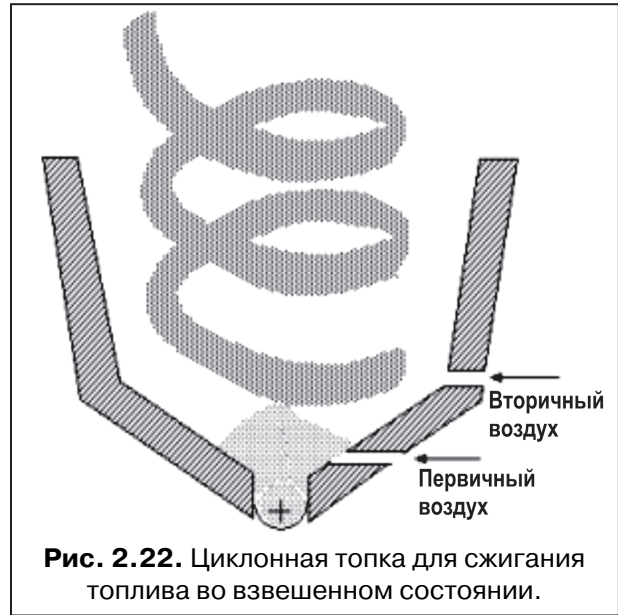
Смесь топлива с воздухом обычно подается по касательной в цилиндрическую печь, создавая круговой (вихревой) поток. Вихревое движение может усиливаться рециркуляцией газа в топочной камере. Наклонная подача воздуха создает вихревое течение и способствует хорошему смешению воздуха с топливом. Используется механическая или пневматическая подача топлива. Высокая плотность энергии у стенок печи и высокая температура горения требуют применения системы водяного охлаждения печи. Так как топливо состоит из мелких частиц, газификация и сгорание углей происходят одновременно, что позволяет быстро изменять нагрузку

Часть А: Сжигание биомассы

и осуществлять эффективный контроль параметров нагрузки печи. Так как газификация мелкодисперсных и мелких частиц носит «взрывной» характер, необходимо обеспечить эффективный контроль системы подачи топлива, которая является основным технологическим компонентом установки.

Циклонные топки (рис. 2.22) представляют собой широко используемые топочные камеры, предназначенные для сжигания топлива с содержанием пыли не менее 50%, размером частиц 10–30 мм и влажностью до 10%.

Муфельные печи для пылевого сжигания (рис. 2.23) все более широко применяются для сжигания мелких древесных отходов производства древесностружечных плит. Выходное отверстие муфеля образует горловину, куда подается вторичный воздух с тем, чтобы обеспечить эффективное смешение воздуха с горючими газами.



Выходное отверстие муфеля образует горловину, куда подается вторичный воздух с тем, чтобы обеспечить эффективное смешение воздуха с горючими газами. Движущийся с высокой скоростью поток топочного газа увлекает частицы золы, которые частично оседают в камере продуктов сгорания. Использование соответствующего режима ступенчатой подачи воздуха обеспечивает низкую потребность в избыточном воздухе ($\lambda = 1,3-1,5$) и низкий уровень выбросов NO_x . Эта технология применяется в установках мощностью от 2 до 8 МВт. Размер частиц топлива не должен превышать 10–20 мм, а влажность не должна превышать 20%.

2.5 Обобщенные данные о технологиях сжигания биомассы

В таблице 2.1 дается технологическая оценка описанных методов сжигания биомассы. Печи с ПКС и ЦПС обеспечивают более низкий уровень выбросов CO и NO_x благодаря более однородным и, следовательно, более управляемым условиям сгорания топлива. В свою очередь, в топках с неподвижным слоем топлива образуется меньше частиц пыли и обеспечивается лучшее сгорание зольной пыли. В таблице 2.2 приведены обобщенные данные о характеристиках тепловой мощности установок и требуемых характеристиках топлива, используемых в описанных технологиях сжигания биомассы.

2. МЕТОДЫ ПРОМЫШЛЕННОГО СЖИГАНИЯ БИОМАССЫ

Таблица 2.1. Технологическая оценка и области применения различных технологий сжигания биомассы.

Преимущества	Недостатки
<p>Топки с нижней подачей топлива:</p> <ul style="list-style-type: none"> • низкие инвестиционные затраты при использовании на установках мощностью < 6 МВт_т • простой и эффективный контроль нагрузки благодаря непрерывной подаче топлива • низкий уровень выбросов при работе с частичной нагрузкой благодаря эффективному дозированию топлива 	<ul style="list-style-type: none"> • пригодны только для сжигания биотоплива с низкой зольностью и высокой температурой точки плавления золы (древесное топливо) • ограничения по размеру частиц
<p>Топки с колосниковыми решетками:</p> <ul style="list-style-type: none"> • низкие инвестиционные затраты при использовании на установках мощностью < 20 МВт_т • низкие эксплуатационные затраты • низкое содержание пыли в топочном газе • в меньшей степени, чем печи с псевдоожиженным слоем, чувствительны к шлакообразованию 	<ul style="list-style-type: none"> • не допускается смешивание древесного топлива с травяным топливом • эффективное снижение уровня выбросов NO_x требует применения специальных технологий • высокое содержание избыточного кислорода (5-8 объемных %) снижает полноту сгорания • условия горения менее однородные, чем в печах с псевдоожиженным слоем • трудно обеспечить низкий уровень выбросов при работе с неполной нагрузкой
<p>Двухкамерные топки:</p> <ul style="list-style-type: none"> • могут использоваться с существующими котлоагрегатами • экономичное решение при конверсии котлоагрегата 	<ul style="list-style-type: none"> • занимают относительно большую площадь • недостаточно эффективный отвод теплоты из предварительной топки • шлакообразование и иногда высокий уровень выбросов NO_x
<p>Пылевое сжигание:</p> <ul style="list-style-type: none"> • низкое содержание избыточного кислорода (4-6 объемных %) повышает КПД • эффективная ступенчатая подача воздуха позволяет значительно снизить уровень выбросов NO_x, если используются циклон или вихревые форсунки • высокоэффективный контроль нагрузки и быстрое изменение параметров нагрузки 	<ul style="list-style-type: none"> • ограничены размеры частиц биотоплива (< 10-20 мм) • высокий износ изоляционного кирпича при использовании циклона или вихревых форсунок • необходима дополнительная форсунка розжига
<p>Печи с ПКС</p> <ul style="list-style-type: none"> • не имеется подвижных деталей в топочной камере • эффективное снижение уровня выбросов NO_x посредством ступенчатой подачи воздуха • возможность работы в широком диапазоне значений влажности и с различными типами топливной биомассы • низкое содержание избыточного кислорода (3-4 объемных %) повышает КПД и снижает объем топочного газа 	<ul style="list-style-type: none"> • высокие инвестиционные затраты, представляет интерес только при использовании на установках мощностью > 20 МВт_т • высокие эксплуатационные затраты • значительно ограничены размеры частиц биотоплива (< 80 мм) • высокое содержание пыли в топочном газе • при работе с неполной нагрузкой требуется применение специальных технологий • средняя чувствительность к шлакообразованию • потери материала слоя с золой • средняя степень эрозии трубок теплообменника в псевдоожиженном слое

<p>Печи с ЦПС</p> <ul style="list-style-type: none"> • не имеется подвижных деталей в топочной камере • эффективное снижение уровня выбросов NO_x посредством ступенчатой подачи воздуха • возможность работы в широком диапазоне значений влажности и с различными типами топливной биомассы • однородные условия горения в камере, если используются несколько топливных форсунок • высокая удельная эффективность теплообмена благодаря высокой турбулентности • легкое использование добавок • очень низкое содержание избыточного кислорода (1-2 объемных %) повышает КПД и снижает объем топочного газа 	<ul style="list-style-type: none"> • высокие инвестиционные затраты, представляет интерес только при использовании на установках мощностью > 30 МВт_т • высокие эксплуатационные затраты • значительно ограничены размеры частиц биотоплива (< 40 мм) • высокое содержание пыли в топочном газе • при работе с неполной нагрузкой требуется второй слой • потери материала слоя с золой • высокая чувствительность к шлакообразованию • потери материала слоя с золой • средняя степень эрозии трубок теплообменника в псевдоожиженном слое
---	--

Таблица 2.2. Характеристики топлива и типичные мощности установок, используемых в различных методах сжигания древесины

Тип топочного устройства	Диапазон мощности	Вид топлива	Зола	Влажность
Топка с нижней подачей топлива	20 кВт – 2,5 МВт	Древесная щепа, древесные отходы	<2%	5–50%
Двухкамерная топка	20 кВт – 1,5 МВт	Сухая древесина (лесосечные отходы)	<5%	5–35%
Топка с подвижной решеткой	150 кВт – 15 МВт	Все виды древесного топлива; большая часть биомассы	<50%	5–60%
Топка с нижней подачей топлива с вращающейся решеткой	2–5 МВт	Древесная щепа, с высокой влажностью	<50%	40–65%
ПКС	5–15 МВт	Различные виды биомассы, d < 10 мм	<50%	5–60%
ЦПС	15–100 МВт	Различные виды биомассы, d < 10 мм	<50%	5–60%
Топка для пылевого сжигания в потоке	5–10 МВт	Различные виды биомассы, d < 5 мм	<5%	<20%

2.6 Системы утилизации тепла и возможности повышения КПД установки

В таблице 2.3 приведены возможные варианты повышения КПД установок, предназначенных для сжигания биомассы. Представляет интерес такой метод, как **подсушка биомассы**, которая, однако, обычно обеспечивает умеренное повышение КПД и снижение затрат. Вместе с тем этот метод позволяет предотвратить самовозгорание в кучах влажной коры, снизить потери сухого вещества, вызываемые процессами микробиологического разложения при хранении топлива, и снизить необходимый объем хранилища на установке. Предполагаемый процесс подсушки биомассы следует подвергнуть тщательному анализу с целью определения возможной экономической выгоды с учетом дополнительных инвестиционных и эксплуатационных затрат, включая

2. МЕТОДЫ ПРОМЫШЛЕННОГО СЖИГАНИЯ БИОМАССЫ

затраты на электроэнергию, а также человеко- и машино-часы, необходимые для обслуживания процесса. В большинстве случаев подсушка биомассы является экономически оправданной только тогда, когда имеется дешевый или бесплатный подогретый воздух (примерами могут служить солнечные воздушные коллекторы и использование подогретого воздуха, получаемого из установок конденсации топочного газа). Анализ условий при открытом хранении показывает, что подсушивание куч биомассы в течение нескольких месяцев с использованием естественной конвекции в большинстве случаев является экономически невыгодным, так как потери от биологического разложения (1-2 вес.% в месяц) превышают полученное повышение КПД.

Таблица 2.3. Влияние различных мер на тепловой КПД установок, предназначенных для сжигания биомассы.

Меры	Потенциальное повышение теплового КПД
Подсушка со снижением влажности с 50 до 30 вес. %	+8,7% (в.о.)
Снижение содержания O_2 в топочном газе на 1 объемный %	Около +0,9%
Сжигание коры: Снижение содержания $C_{орг}$ в золе с 10,0 до 5,0 вес. % (со)	+0,3%
Снижение температуры топочного газа на выходе из котла на 10°C	+0,8%
Конденсация топочного газа (по сравнению с установками для сжигания топлива обычного типа)	Среднее +17%; максимальное +30%

Примечание. Потенциальное повышение теплового КПД по сравнению с низшей теплотворной способностью одной сухой тонны топлива (%). Расчет выполнен для древесной щепы и коры, используемых в качестве топлива; ВТС = 20 МДж/кг (со).

Сокращения: со – сухая основа; во – влажная основа; НТС – низшая теплотворная способность; ВТС – высшая теплотворная способность; КПД = тепловая мощность (котлоагрегата)/потребленная энергия топлива (НТС)

Снижение содержания избыточного кислорода в топочном газе является действенной мерой повышения эффективности установки, предназначенной для сжигания, как показано на рис. 2.24.

Имеются два технологических варианта **снижения коэффициента избытка воздуха** и одновременно обеспечения полного сгорания топлива. Одним из них является установка кислородного датчика, соединенного с датчиком CO в потоке топочного газа на выходе из котла, с целью оптимизации подачи вторичного воздуха (контроль $CO-\lambda$); второй вариант предусматривает повышение качества смешения топочного газа с воздухом топки (как указывалось ранее). Кроме того, снижение концентрации избыточного кислорода

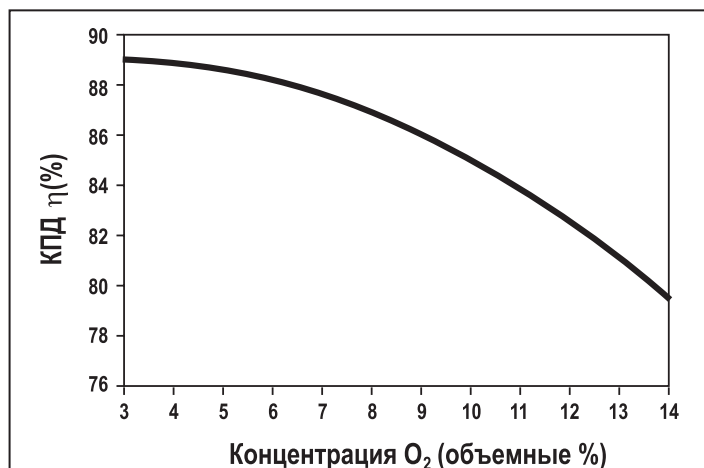


Рис. 2.24. Зависимость КПД установки от содержания кислорода в топочном газе.

Примечание. Влажность топлива — 55 вес. % в.о.; использованная топливная биомасса — древесная щепа/кора; содержание Н — 6,0 вес. % с.о.; ВТС топлива — 20,3 МДж/кг (со); температура топочного газа на выходе из котла — 165°C; КПД по отношению к НТС топлива; концентрация O_2 по отношению к сухому топочному газу; КПД = тепловая мощность (котлоагрегата)/потребленная энергия топлива (НТС)

в топочном газе также позволяет значительно повысить КПД устройств конденсации газа, так как такое снижение повышает значение точки росы и, следовательно, увеличивает количество латентной теплоты в конденсационной воде, которая может быть утилизирована при определенной температуре (рис. 2.25).

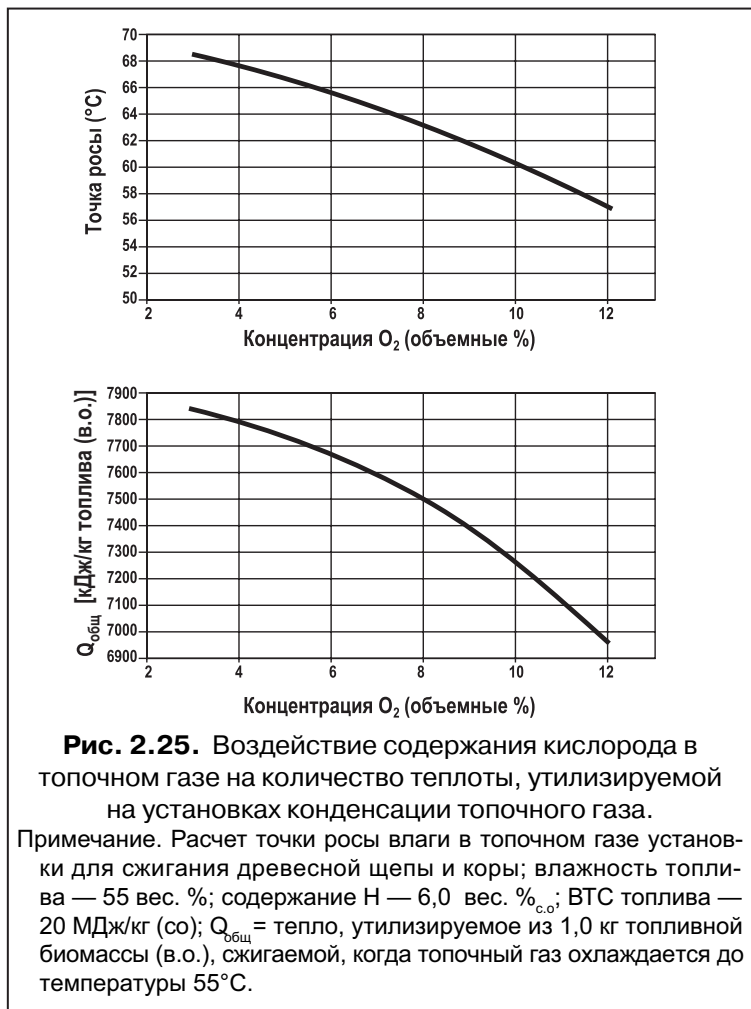
Снижение концентрации избыточного кислорода в топочном газе снижает также объем потока топочного газа, что позволяет ограничить падение давления и уменьшить размеры котлоагрегатов и скрубберов топочного газа. При этом необходимо обеспечить, чтобы снижение концентрации избыточного кислорода в топочном газе сопровождалось повышением температуры горения, что требует использования эффективной системы контроля температуры в топке.

Низкое содержание углерода в золе

не оказывает значительного воздействия на КПД установки, однако является важным фактором при повторном использовании золы в связи с тем, что концентрация органических загрязнителей в золе биомассы обычно повышается с увеличением концентрации углерода.

Наиболее эффективным и во многих случаях экономически оправданным методом утилизации энергии из топочного газа является метод **конденсации топочного газа**. Кроме того, что этот процесс обладает высоким потенциалом утилизации энергии (до 20% от потребленной энергии топливной биомассы по отношению к НТС), он еще и обеспечивает высокую степень осаждения пыли (40–75%). Он также позволяет предотвратить конденсирование топочного газа на поверхности дымовой трубы при температуре окружающей среды до -10°C . В Дании большинство установок систем центрального теплоснабжения, работающих на биомассе, оснащены устройствами конденсации топочного газа. Число таких установок быстро увеличивается в Швеции, Финляндии и Австрии. Несколько установок уже действуют в Италии, Германии и Швейцарии. На рис. 2.26 показан принцип работы устройства конденсации топочного газа. Обычно установка состоит из трех компонентов — экономайзера (утилизирующего значительное количество теплоты из топочного газа), конденсатора (утилизирующего теплоту уходящих газов) и подогревателя воздуха (подогревающего воздух, идущий на горение, и воздух, используемый для разбавления топочных газов перед его поступлением в дымовую трубу).

Количество теплоты, которое может быть утилизировано из дымовых газов, зависит от влажности топливной биомассы, количества избыточного кислорода в дымовых газах (как указывалось выше) и температуры воды в обратном трубопроводе. Чем ниже температура оборотной воды, тем больше количество теплоты, которая может быть утилизирована, когда дымовые газы охлаждаются ниже точки росы (рис. 2.27). Следовательно, потенциал утилизации энергии в значительной степени зависит от качества теплообменников, кон-



струкции гидравлических систем и характеристик систем управления технологическим процессом, которые определяют температуру оборотной воды.

Вышеуказанная эффективность осаждения пыли, составляющая 40–75%, может быть значительно повышена посредством размещения простого аэрозольного электростатического фильтра конденсационным устройством. Данные испытаний показывают, что эффективность осаждения пыли составляет 99,0% при температуре ниже 40°C. Низкая температура уходящих дымовых газов позволяет использовать электростатический осадитель (ЭСО) малой мощности, который, следовательно, является приемлемым с экономической точки зрения. Так же

осуществляется эффективное осаждение не только аэрозолей, но и водяных капель, увлекаемых дымовыми газами, что уменьшает количество воздуха, добавляемого для разбавления дымовых газов, выходящих из конденсационного устройства. Конденсационный шлам должен отделяться от конденсата (с помощью осадительных устройств), так как он содержит значительное количество тяжелых металлов, подвергшихся очищению в этой фракции мелкодисперсной зольной пыли. Эти металлы удаляются или используются для промышленных целей. Более того, данные исследований показывают,

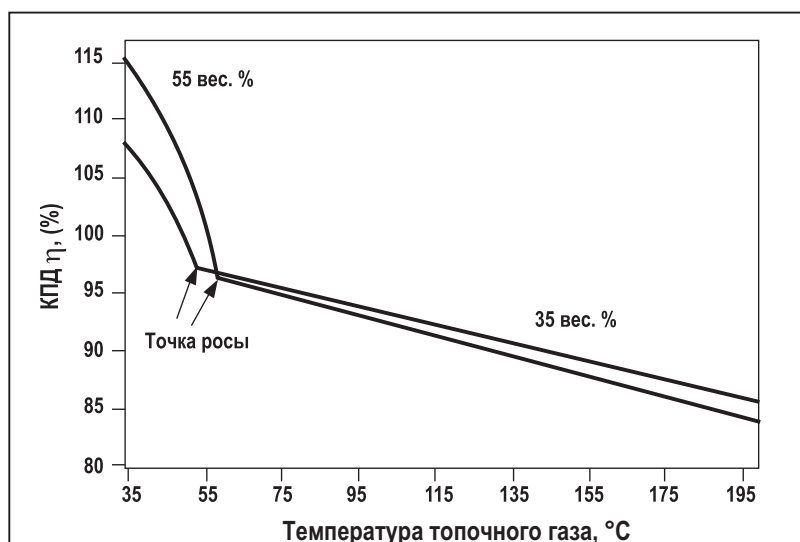
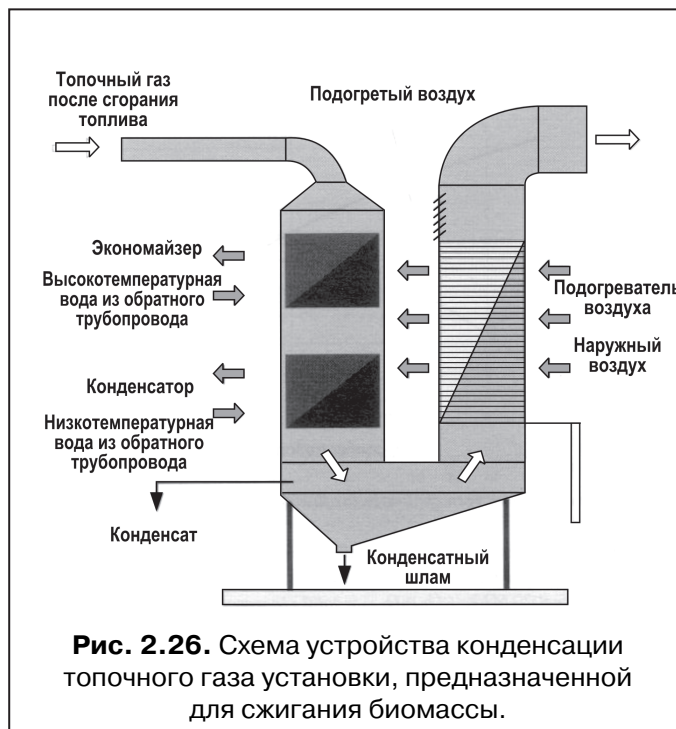


Рис. 2.27. Зависимость КПД установок, предназначенных для сжигания биомассы, оснащенных устройствами конденсации дымовых газов, от температуры дымовых газов.

Примечание. Концентрация кислорода в топочном газе — 9,5 объемных %; использованная топливная биомасса — древесная щепа/кора; содержание Н — 6,0 вес. %_{с.о.}; ВТС топлива — 20 МДж/кг (с_о); расчет точки росы; КПД по отношению к НТС топлива; концентрация O₂ в сухих дымовых газах; общий КПД = тепловая мощность (котлоагрегат + устройство конденсации дымовых газов)/потребленная энергия топлива (НТС)

что отделение шлама от конденсата должно производиться при значении pH > 7,5 с тем, чтобы предотвратить растворение тяжелых металлов и обеспечить соответствие значениям предельно допустимых концентраций при прямом сбросе конденсата в реки.

Конденсация топочного газа может также осуществляться посредством смешения с холодным продуктом. Недостатком такой системы является то, что охлаждение несколько уменьшает количество тепла, которое может быть утилизировано, и требует, чтобы температура оборотной воды была еще ниже, чтобы обеспечить экономическую эффективность системы.

Что касается экономических аспектов применения систем конденсации топочного газа, в целом их рекомендуется использовать на установках, предназначенных для сжигания биомассы. Применение устройств конденсации топочного газа представляет интерес в случае использования влажной топливной биомассы (средняя влажность 40–55 вес. %_{во}), если температура воды в обратном трубопроводе составляет менее 60°C и если номинальная мощность котлоагрегата более 2 МВт.

2.7 Техничко-экономические аспекты проектирования установок, предназначенных для сжигания биомассы

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

Проектно-конструкторские и строительно-монтажные работы включают ряд этапов:

- Определение исходных параметров установки, предназначенной для сжигания биомассы
- Техничко-экономическое обоснование
- Проектирование
- Согласование
- Планирование производства работ
- Начало работ и размещение заказов
- Надзор за производством строительно-монтажных работ
- Приемно-сдаточные испытания и оформление документации

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

- Склад топлива (склад длительного хранения, склад ежедневного пользования)
- Система подачи и погрузки/разгрузки топлива
- Топка для сжигания биомассы
- Котлоагрегат (водогрейный котел, паровой котел, котел с тепловым маслом)
- Резервный котлоагрегат или котлоагрегат для использования при пиковых нагрузках (например, котел, работающий на нефтяном топливе)
- Система утилизации тепла (экономайзер или устройство конденсации топочного газа)
- Система золоудаления и предварительной обработки золы
- Система очистки дымовых газов
- Дымовая труба
- Оборудование системы управления и воспроизведения данных
- Электротехнические и гидравлические устройства
- (Аккумулятор тепла)
- (Паровая турбина, электрогенератор)
- (Сеть трубопроводов системы центрального теплоснабжения)

Рекомендуемые технические и экономические стандарты по установкам, предназначенным для сжигания биомассы, и установкам на биомассе, используемым в системах центрального теплоснабжения

В Австрии технические и экономические стандарты по установкам систем центрального теплоснабжения, работающим на биомассе, были введены с целью обеспечения

2. МЕТОДЫ ПРОМЫШЛЕННОГО СЖИГАНИЯ БИОМАССЫ

экономической целесообразности инвестиций. Соблюдение этих стандартов является обязательным условием получения инвестиционных субсидий при реализации проектов строительства новых систем централизованного теплоснабжения и установок комбинированного производства тепловой и электрической энергии.

	$\frac{\text{эффективная тепловая пиковая нагрузка} - \text{система централизованного теплоснабжения}}{\Sigma \text{ номинальная мощность подключения потребителя}}$
Коэффициент одновременности [%] =	
	$\frac{\text{тепловая мощность, произведенная котлоагрегатом в течение года}}{\text{номинальная мощность котлоагрегата}}$
Часы работы котлоагрегата при полной нагрузке [ч/год] =	
	$\frac{\text{количество теплоты, произведенное котлоагрегатом за год}}{\text{потребленная энергия топлива (НТС) в год}}$
Коэффициент использования в год — установка для сжигания биомассы [%]	
	$\frac{\text{количество теплоты, проданное за год}}{\text{длина трубопроводной сети}}$
Коэффициент использования теплоты в сети [кВт·ч/м]	
	$\frac{\text{инвестиции [Евро]}}{\text{номинальная мощность котлоагрегата, работающего на биомассе}}$
Удельные инвестиции (котлоагрегат) [Евро/кВт]	
	$\frac{\text{капитальные затраты + платежи (в год)}}{\text{количество теплоты, проданное за год}}$
Затраты на производство теплоты [Евро/МВтч]	

Определение параметров установки / размеры котлоагрегата

Номинальная тепловая мощность установок систем центрального теплоснабжения или ТЭЦ с регулируемой тепловой мощностью определяется исходя из потребности в энергии (тепловой, электрической) с учетом будущего развития. Поэтому на первом этапе необходимо выполнить детальное и точное обследование имеющихся мощностей и существующих потребностей в тепловой энергии в районе планируемой поставки. Также следует учитывать одновременную потребность в энергии потребителей систем централизованного теплоснабжения, определяемую коэффициентом одновременности. Значение этого коэффициента, зависящее от числа и типов потребителей, составляет от 0,5 (в крупных сетях централизованного теплоснабжения) до 1 (в микросетях).

В большинстве случаев потребность в энергии не является постоянной в течение года. Особенно сильным годовым колебаниям подвержена тепловая нагрузка сетей централизованного теплоснабжения, которая достигает максимума в зимний период и снижается до минимального уровня в летнее время. На основе результатов обследования существующих мощностей и потребностей в тепловой энергии выполняется расчет годового графика производства теплоты (рис. 2.28). При выполнении экономических расчетов в процессе проектирования котельных установок необходимо различать базовую нагрузку и пиковую нагрузку. Для удовлетворения потребности в энергии в период пиковых нагрузок также могут использоваться аккумуляторы теплоты. Различие между базовой

Часть А: Сжигание биомассы

вой и пиковой нагрузками необходимо учитывать с тем, чтобы определить максимально необходимое количество часов работы котла на биомассе с полной нагрузкой и снизить общие затраты на производство тепловой энергии. Определение оптимальных параметров котлоагрегата зависит от величины капитальных затрат на установку для сжигания биомассы и эксплуатационных затрат (в основном затрат на топливо; таблица 2.4).

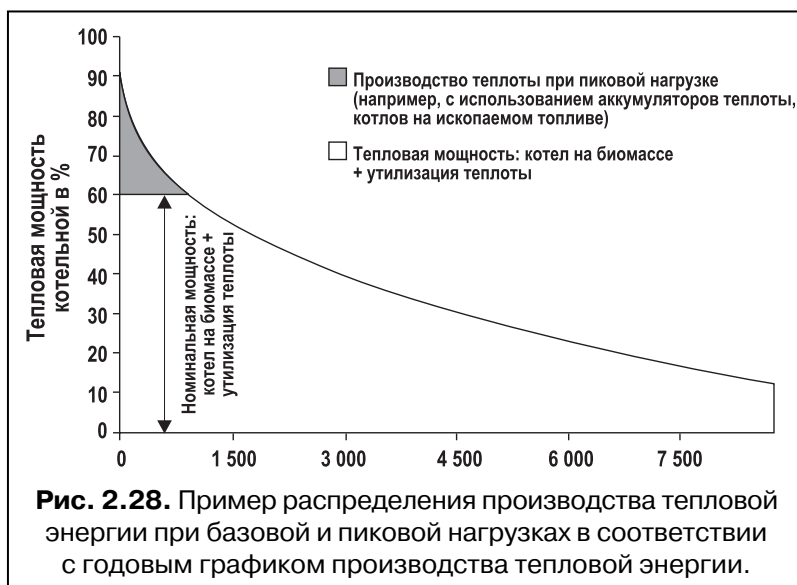


Рис. 2.28. Пример распределения производства тепловой энергии при базовой и пиковой нагрузках в соответствии с годовым графиком производства тепловой энергии.

Таблица 2.4. Сравнение удельных затрат на инвестиции с затратами на топливо для установок, работающих на биомассе и нефтяном топливе.

Установка	Удельные инвестиции	Затраты на топливо
На биомассе	Высокие (около 100 Евро/кВт) ¹⁾	Низкие (около 15 Евро/МВт·ч _{нТС})
На топочном мазуте	Низкие (около 20 Евро/кВт) ²⁾	Высокие (около 30 Евро/МВт·ч _{нТС})

¹⁾ Установка, работающая на биомассе мощностью 5 МВт_т (устройство подачи топлива, топка, котел, мультициклон, ЭСО, осадитель, дымовая труба).

²⁾ Котлоагрегат, работающий на топочном мазуте мощностью 5 МВт_т, с форсункой и дымовой трубой; величина удельных инвестиций зависит от мощности котлоагрегата.

Степень использования установки, работающей на биомассе, в течение года

Степень использования установки, работающей на биомассе (котел на биомассе + утилизация теплоты), в течение года должна составлять не менее 85%. Поэтому рекомендуется использовать систему утилизации теплоты (например, экономайзер или устройство конденсации дымовых газов).

Размеры склада топлива

Склад топлива должен иметь небольшие размеры, необходимые для оперативного обеспечения эксплуатации котлоагрегата (единица складского объема биомассы < 10% годового объема потребления топлива). Необходимо обеспечить заключение соответствующих контрактов на поставку топлива, организацию закупок топлива и координацию поставок в пределах региона.

Строительство и затраты на строительные работы

Затраты на строительство зданий и сооружений не должны превышать 750 Евро/м²; затраты на строительство склада не должны превышать 75 Евро/м² полезного объема.

Трубопроводная сеть

Стоимость строительства тепловой сети составляет от 35 до 55% от общего объема инвестиций, выделяемых на строительство котельных установок систем централизованного теплоснабжения. Поэтому необходимо выполнить точный расчет параметров трубопроводной сети с тем, чтобы обеспечить высокую степень ее использования, уделив особое внимание использованию небольших эффективных сетей. В системах централизованного теплоснабжения, применяющих установки, работающие на биомассе, степень

2. МЕТОДЫ ПРОМЫШЛЕННОГО СЖИГАНИЯ БИОМАССЫ

использования тепловой сети должна превышать 800 кВт·ч/м; плановый показатель составляет 1 200 кВт·ч/м. Также необходимо обеспечить максимальную разность температур между входом и выходом трубопроводной сети. Соответствующий плановый показатель в системах централизованного теплоснабжения, использующих установки, работающие на биомассе, составляет 40°C или более. Степень использования сети централизованного теплоснабжения в течение года должна превышать 75%.

Затраты на производство теплоты и оптимизация параметров с учетом экономических показателей

Расчет затрат на производство энергии рекомендуется выполнять в соответствии с «Методическими рекомендациями VDI (Ассоциации немецких инженеров) 2067».

В этой схеме расчета выделяются четыре вида затрат:

- капитальные затраты (амортизационные отчисления, затраты на выплату процентов),
- затраты, связанные с потреблением (топлива, материалов, таких как смазочные материалы),
- эксплуатационные затраты (затраты на содержание персонала, на техническое обслуживание),
- другие затраты (административные расходы, страхование).

Затраты на строительство котельных установок на биомассе, включая системы подачи топлива и устройства очистки дымовых газов, превышают затраты на строительство энергетических установок, работающих на ископаемом топливе (см. таблицу 2.4). Типичные объемы инвестиций для строительства установок, работающих на биомассе, в Австрии и Дании приведены на рис. 2.29. Для снижения затрат на производство теплоты необходимо обеспечить рациональную эксплуатацию установки. График (рис. 2.30) иллюстрирует зависимость величины капитальных издержек при эксплуатации установок, работающих на биомассе, от числа часов работы с полной нагрузкой. Чтобы достичь приемлемой окупаемости инвестиций, число часов работы установки, работающей на биомассе с полной нагрузкой, должно превышать 4 000 часов в год. Для ТЭЦ на биомассе соответствующий плановый показатель составляет 5000 или более часов работы с полной нагрузкой.

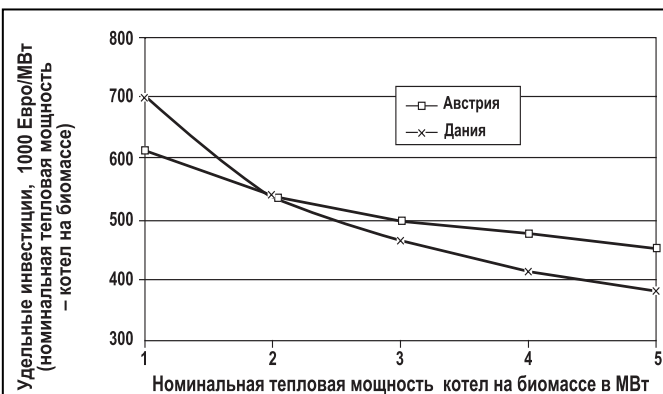


Рис. 2.29. Сравнение величины удельных инвестиций в строительство котельных установок на биомассе в Австрии и Дании в зависимости от производительности котлов.

Примечание. Инвестиции включают: затраты на топку с колосниковой решеткой для сжигания древесной щепы, резервный котел (на мазуте), склад топлива, систему подачи топлива, устройство очистки дымовых газов, дымовую трубу, здания и сооружения, гидравлическое и электротехническое оборудование, проектно-конструкторские и строительно-монтажные работы (без трубопроводной сети). Уровень цен по состоянию на 1998 г.

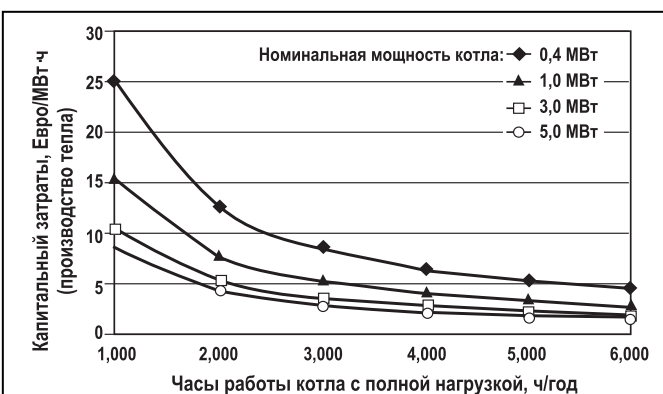


Рис. 2.30. Величина удельных затрат на инвестиции для строительства котельных установок на биомассе в зависимости от мощности и степени использования котлов на биомассе.

Примечание. Топка для сжигания биомассы с подвижной колосниковой решеткой (включая водогрейный жаротрубный котел, устройство подачи топлива и дымовую трубу); уровень цен по состоянию на 1998 г., процентная ставка — 7% в год; срок службы — 20 лет; расчет выполнен в соответствии с «Методическими рекомендациями VDI 2067 (VDI Guideline 2067)».

3 КОМБИНИРОВАННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

3.1 ВВЕДЕНИЕ

Производство энергии посредством сжигания биомассы можно подразделить на процессы с замкнутым тепловым циклом и разомкнутым тепловым циклом. *Разомкнутые циклы* используются при сжигании газообразного и жидкого топлива для приведения в действие двигателей внутреннего сгорания и газовых турбин. В этом случае топливо сжигается либо непосредственно внутри двигателя внутреннего сгорания, либо в камере сгорания с последующим расширением газов, пропускаемых через газовую турбину. В системах с *замкнутым тепловым циклом* процессы сжигания топлива и производства энергии разделяются посредством передачи теплоты от горячего дымового газа теплоносителю, используемому во вторичном цикле. При таком разделении между топливом и двигателем в двигатель поступает чистый теплоноситель, что предотвращает повреждение двигателя нежелательными примесями, содержащимися в топливе.

3.1.1 Процессы с замкнутым циклом

Так как топливная биомасса и образующиеся при ее сжигании дымовые газы содержат элементы, которые могут вызвать повреждение двигателя, такие как частицы зольной пыли, металлы и хлорные примеси, современные технологии производства энергии посредством сжигания биомассы основаны на использовании процессов с замкнутым циклом. Применяемые процессы и типы установок включают:

- **паровые турбины**, используемые как детандеры в системах с циклом Ренкина с использованием воды в качестве рабочего тела, в которых вода испаряется под давлением и перегревается;
- **паровые двигатели**, применяемые в системах с циклом Ренкина с перегревом или без перегрева;
- **паровые турбины в системах с органическим циклом Ренкина (ОЦР)**, в которых происходит испарение органического рабочего тела в третичном цикле, отделенном от производства теплоты (теплота, выделяемая при сжигании, передается маслу, которое подается на внешний испаритель с органическим агентом с более низкой температурой кипения по сравнению с водой);
- **двигатели Стирлинга** (газовые двигатели с непрямым сжиганием топлива), приводимые в действие посредством периодического теплообмена между дымовыми газами и газообразным рабочим телом, таким как воздух, гелий или водород;
- **турбины с замкнутым циклом**, в которых используется цикл горячего газа и турбина действует как детандер, в двух конфигурациях:
 - а) полностью замкнутый вторичный цикл (аналогичный циклу в двигателе Стирлинга) с использованием воздуха, гелия или водорода;
 - б) с передачей теплоты сжатому воздуху, который расширяется в газовой турбине и затем подается в котел как воздух горения.

В таблице 3.1 приведены данные о рабочих циклах, применяемых для производства энергии из биомассы. В паровом цикле в технологическом процессе используется значительное различие в теплосодержании (энтальпии) между жидкой и газовой фазами. С другой стороны теплоноситель не претерпевает фазового превращения в системах с замкнутым циклом с двигателем Стирлинга и в турбинах с замкнутым циклом. Поэтому теплообменники и двигатели, предназначенные для систем с замкнутым циклом, имеют значительно большие размеры, чем теплообменники и двигатели, используемые в паро-

3. КОМБИНИРОВАННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

вых циклах. Существующие технологии позволяют проектировать установки в широком диапазоне тепловой мощности — от нескольких кВт (двигатели Стирлинга) до нескольких сотен кВт (современные паровые турбины и применявшиеся ранее паровые турбины с замкнутым циклом). Как видно из таблицы 3.1, в настоящее время существующие процессы находятся на различных этапах реализации — от разработки концепции до применения опробованных технологий.

3.1.2 Процессы с разомкнутым циклом

Наряду с процессами с замкнутым циклом следующие процессы с разомкнутым циклом также применяются в системах, использующих установки на биомассе:

- а) газовые турбины, приводимые в действие непосредственно от сжигания биомассы под давлением, в которых топочный газ расширяется в турбине и выводится в атмосферу;
- б) газовые турбины, приводимые в действие непосредственно от сжигания биомассы при атмосферном давлении, в которых топочный газ расширяется до вакуума с последующим охлаждением и сжатием охлажденного газа, позволяющим осуществить выпуск газа в атмосферу.

Таблица 3.1. Процессы с замкнутым циклом, используемые для производства энергии посредством сжигания биомассы.

Рабочее тело	Тип двигателя	Типичная мощность	Состояние
Жидкое и парообразное (с фазовым переходом)	Паровая турбина	0,5 – 500 МВт _э	Опробованная технология
	Паровая поршневая машина	100 кВт _э – 1 МВт _э	Опробованная технология
	Паровой винтовой двигатель	Не установлена, аналогична мощности парового поршневого двигателя	В процессе разработки
	Паровая турбина с органическим рабочим телом (ОЦР)	500 кВт _э – 1 МВт _э	Несколько действующих промышленных установок на биомассе
Газ (без фазового перехода)	Газовая турбина с замкнутым циклом (турбина с горячим воздухом)	Не установлена, аналогична мощности парового поршневого двигателя	Разработка концепции, в процессе проектирования
	Двигатель Стирлинга	20 – 100 кВт _э	Этап разработки и опытной эксплуатации

Необходимость отделения частиц и металлов от топочного газа считается относительным недостатком этих процессов. Процессы, в которых газовые турбины приводятся в действие непосредственно от сжигания биомассы, находятся на ранней стадии проектирования или даже на этапе разработки концепции. Применение выделяющегося при газификации биомассы генераторного газа в газовых турбинах с разомкнутым циклом считается перспективной технологией, которую активно изучают в настоящее время, о чем свидетельствуют соответствующие публикации в литературе.

3.2 Паровые турбины

Производство электроэнергии с помощью паровых турбин представляет собой развитую технологию, применяемую на теплоэлектростанциях и в установках комбинированного производства тепловой и электрической энергии (установки ТЭЦ или ко-

генерации). Тепло, вырабатываемое в процессе сжигания топлива, используется для производства пара высокого давления в котле (обычно от 20 до 200 бар) и, в случае паровой турбины, подвергается перегреву с целью повышения КПД и получения сухого пара. Пар, расширяясь в турбине, производит механическую энергию, приводящую в действие генератор.

Паровые турбины применяются в широком диапазоне мощности (от 0,3 до 500 МВт_э и более) как конденсационные, так и с противодавленческим отбором теплоты для тепловых нужд.

В диапазоне малой мощности используются осевые и центробежные турбины; в диапазоне большой мощности применяются только осевые турбины. Маломощные турбины являются одноступенчатыми; большие турбины проектируются как многоступенчатые расширительные машины (рис. 3.1 – 3.3).

В многоступенчатых турбинах достигается высокое отношение входного и выходного давлений (и, соответственно, высокий КПД); в турбинах с одноступенчатым расширением степень повышения давления ограничена. Скорость пара на входе турбины обычно составляет 60 м/с. Неподвижные лопатки турбины изменяют осевое направление потока на радиальное, повышая скорость потока приблизительно до 300 м/с, при этом давление пара понижается. Таким образом, кинетическая энергия пара преобразуется во вращательную энергию ротора.

В установках с паровым циклом обычного типа для производства электроэнергии в качестве рабочего тела используется вода. На рис. 3.4 показан график зависимости T/S (температуры от энтропии) для ТЭЦ с противодавленческой турбиной, предназначенной для комбинированного производства тепловой и электрической энергии. КПД по электроэнергии установки с циклом Ренкина зависит от разности значений энтальпии до и после турбины и, следовательно, от разности значений давлений на входе и выходе турбины и значения температуры: для получения высокого КПД необходимо высокое давление пара. Однако более высокие давление и температура требуют больших инвестиционных затрат и повышают вероятность коррозии. При использовании биотоплива, в особенности топлива с высоким содержанием хлора, температура перегревателя может быть ограничена из-за высокой температурной коррозии. В этих случаях с целью увеличения КПД по электро-

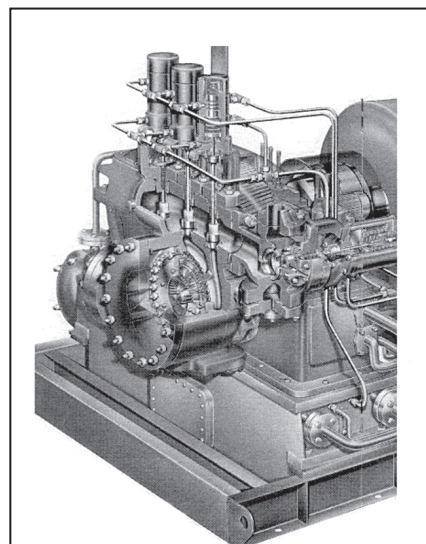


Рис. 3.1. Одноступенчатая радиальная паровая турбина с валом-шестерней и генератором, используемая на установке ТЭЦ, работающей на биомассе, мощностью припл. 5 МВт_т и 0,7 МВт_э.



Рис. 3.2. Ротор двухступенчатой радиальной паровой турбины (2,5 МВт_э).

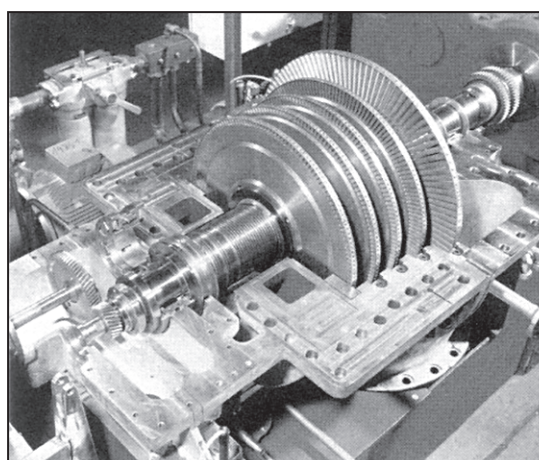


Рис. 3.3. Осевая паровая турбина, часто используемая на предприятиях лесной промышленности.

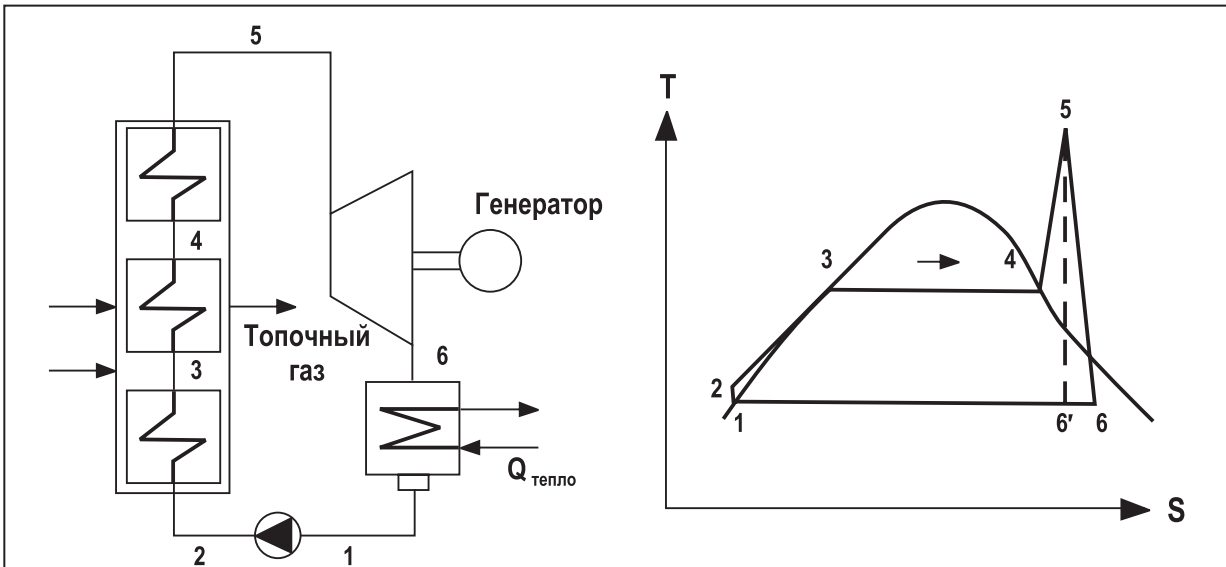


Рис. 3.4. Цикл Ренкина в ТЭЦ с противогазовой турбиной, предназначенной для комбинированного производства тепловой и электрической энергии. Схема технологического процесса и график T/S (температура/энтропия):

- 1-2 — повышение давления воды в насосе подачи воды;
- 2-3 — нагрев воды до температуры испарения в подогревателе;
- 3-4 — испарение воды в котле;
- 4-5 — перегрев пара в перегревателе;
- 5-6 — политропное расширение пара в паровой турбине (реальный процесс);
- 5-6' — изэнтропное расширение пара (идеальный процесс);
- 6-1 — конденсация пара, утилизации тепла в конденсаторе, обычно при $p > 1$ бар.

КПД системы можно повысить посредством подогрева питательной воды, применения перегревателей пара и принятия других мер.

энергии возможно дополнительное использование природного газа (отдельного перегревателя на газе).

Процесс, показанный на рис. 3.4, с расширением в двухфазную область (точка 6), являющийся типичным для больших паровых турбин, сопровождается некоторой концентрацией капель в турбине (обычно от 10 до 15% уровня влажности). В турбинах малой мощности используется сухой пар (точка 6 должна находиться за пределами двухфазной области), что ограничивает их КПД. В установках комбинированного производства тепловой и электрической энергии температура в конденсаторе обычно составляет от 90 до 140°C, а противогазление — приблизительно от 1 до 5 бар, что снижает КПД по электроэнергии приблизительно на 10%, так как перепад в величине энтальпии только частично используется для выработки электроэнергии (рис. 3.5). Однако общий КПД, определяемый как сумма

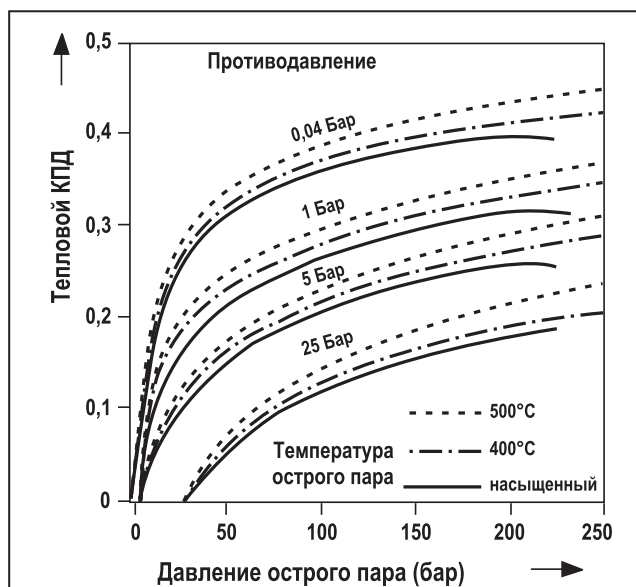
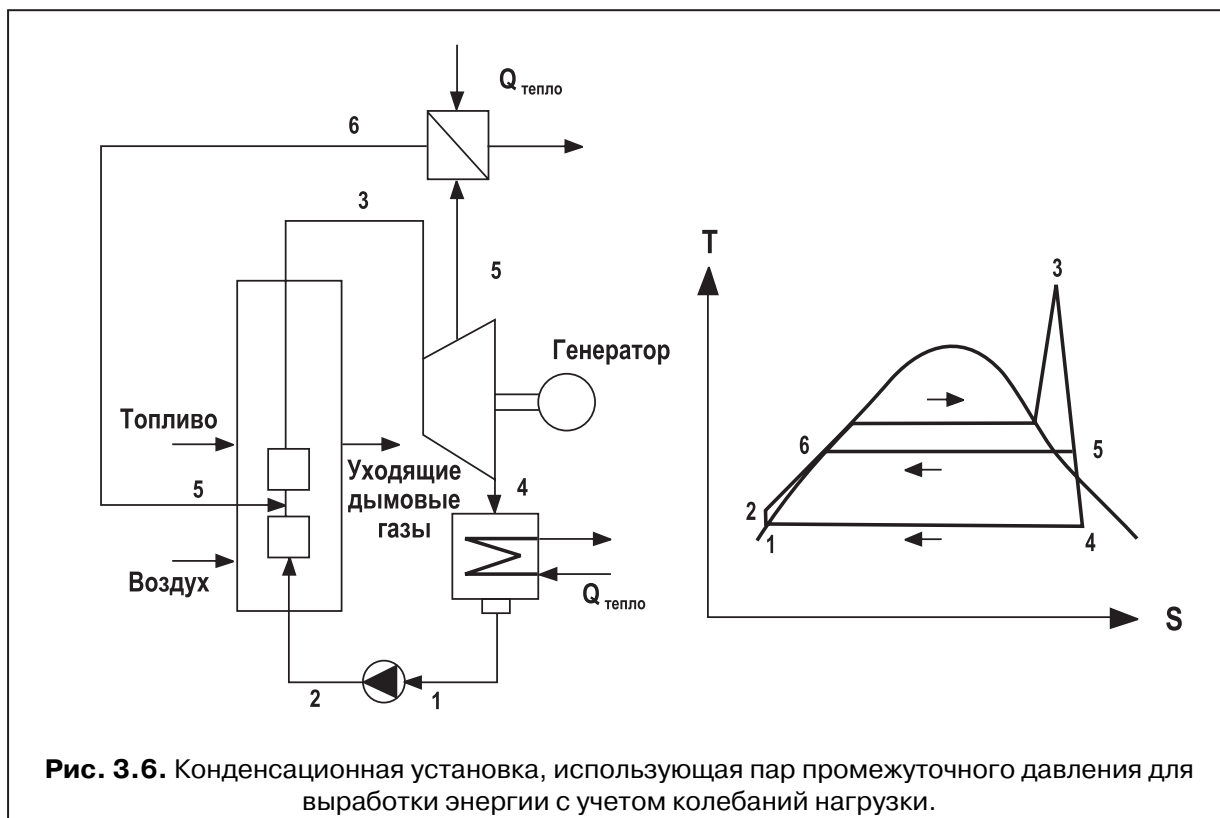


Рис. 3.5. Зависимость КПД парового цикла от параметров острого пара и противогазления.

Примечание. Определение КПД энергетической установки может производиться с учетом теплового КПД, КПД котла, КПД турбины и КПД генератора. Поэтому КПД установки значительно ниже, чем тепловой КПД цикла Ренкина, приведенный на графике.



КПД по выработке электроэнергии и КПД по выработке теплоты, может быть увеличен посредством комбинированного производства тепловой и электрической энергии до 80%.

Для обеспечения отпуска тепла с учетом колебаний тепловой нагрузки выработка тепла может осуществляться с использованием пара промежуточного давления (рис. 3.6). Это позволяет осуществлять эксплуатацию установки с максимальным общим КПД в зимний период при высоком уровне производства тепла и с максимальным общим КПД в летний период при низком уровне производства тепла. В установках меньшей мощности (до 1 МВт_т) по экономическим причинам вместо водотрубных котлов применяются жаротрубные котлы, позволяющие создавать давление только от 20 до 30 бар.

Проводятся исследования, направленные на совершенствование конструкции и повышение качества материалов деталей паровых турбин, широко используемых в различных применениях. Так как более высокие параметры пара позволяют повысить изоэнтропическую температуру, разрабатываются новые материалы, способные выдерживать более высокую температуру пара на входе в турбину. Так как использование влажного пара приводит к возникновению коррозии, следует осуществлять тщательный отбор материалов. Также проводятся исследования в сфере проектирования установок относительно малой мощности (0,25–10 МВт_т). Установки в этом диапазоне мощности все еще имеют низкий КПД при работе с частичной нагрузкой. При практической эксплуатации эти установки имеют еще более низкий КПД из-за того, что угол входа пара, поступающего на лопатки, может быть оптимизирован только для одного эксплуатационного параметра (потребление пара, давление и т.д.).

3.3 Паровые поршневые двигатели

Паровые двигатели имеют мощность от 50 до 1200 кВт_э и, следовательно, могут применяться на установках малой мощности, не имеющих паровых турбин, или на установках средней мощности в качестве альтернативы паровым турбинам. Паровые поршневые двигатели имеют модульную конструкцию; в различных конфигурациях число поршней в

3. КОМБИНИРОВАННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

двигателе составляет от одного до шести. На рис. 3.7 показан пример четырехцилиндрового двигателя. В зависимости от параметров пара применяется одноступенчатое или многоступенчатое расширение. Разность давления между входом и выходом двигателя составляет обычно около 3 (максимально 6) на одной ступени расширения. КПД двигателя зависит от параметров пара. Типичные значения КПД одноступенчатых двигателей составляют от 6 до 10% и многоступенчатых двигателей — от 12 до 20%. Давление на входе обычно составляет от 6 до 60 бар, а противодействие может варьироваться в диапазоне от 0 до 25 бар. При аналогичных параметрах пара максимальные значения КПД сравнимы со значениями КПД паровых турбин или несколько превышают эти значения.

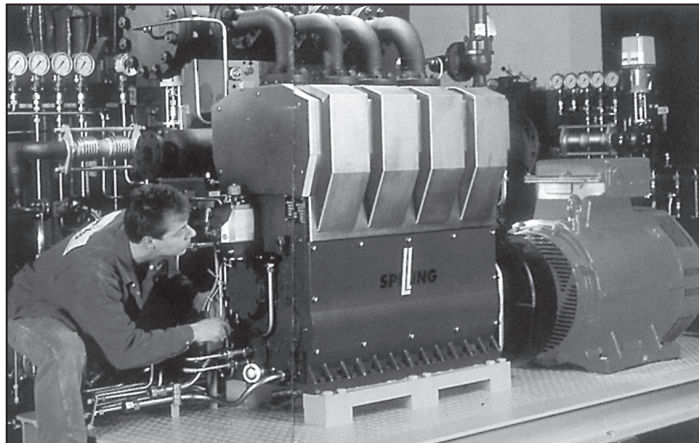


Рис. 3.7. Пример четырехцилиндрового парового двигателя установки компании «Спилингверк».

Паровые двигатели имеют ряд преимуществ перед паровыми турбинами. Паровые двигатели менее чувствительны к водяным каплям на выходе из двигателя, и допустимый уровень влажности даже при эксплуатации двигателей малой мощности составляет до 12%. Они могут эксплуатироваться с использованием насыщенного пара низкого давления. Хотя эксплуатация при таких параметрах снижает КПД двигателя, экономия инвестиционных затрат на паровой котел может достигать 30%.

В паровых двигателях, эксплуатируемых с использованием перегретого пара в режиме когенерации (комбинированного производства тепловой и электрической энергии), технологический цикл аналогичен технологическому циклу паровой турбины, показанному на рис. 3.4. При использовании насыщенного пара применяется технологический цикл, показанный на рис. 3.8, с расширением с 3 до 4 в двухфазную область при влажности до 12%.

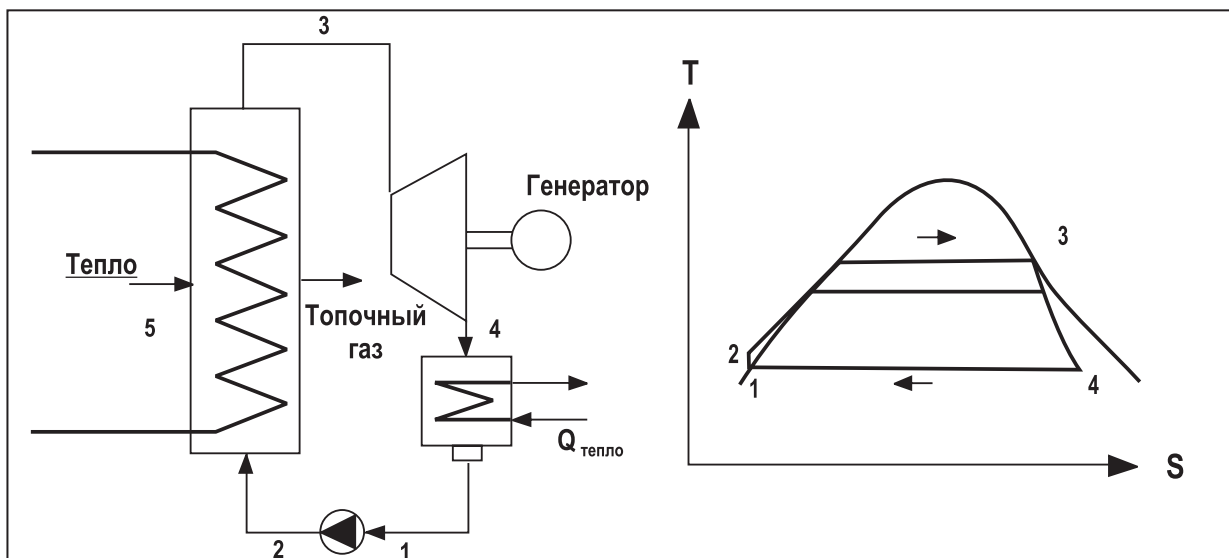


Рис. 3.8. Принципиальная схема и график зависимости T/S парового цикла с насыщенным паром в паровом поршневом двигателе и паровом винтовом двигателе.

Примечание. При расширении с 3 до 4 происходит переход в двухфазную область (вода/пар), что неприемлемо для паровых турбин.

Часть А: Сжигание биомассы

По сравнению с турбинами паровые поршневые двигатели имеют более высокий КПД при работе с частичной нагрузкой. Паровые двигатели также пригодны для использования в режиме переменных тепловых и электрических нагрузок. Паровые двигатели также менее, чем турбины, чувствительны к содержащимся в паре загрязнителям, что позволяет использовать менее сложные системы обработки котловой воды.

Существенным недостатком паровых поршневых двигателей остается необходимость добавления в пар смазочного масла перед подачей пара в двигатель. Введенное масло удаляется из конденсата перед его поступлением в резервуар питательной воды с использованием двухступенчатого процесса с применением масляного сепаратора и угольного фильтра. Расход масла составляет 0,2 г/кВт·ч. Так как даже после пропускания воды через масляный фильтр в ней обнаруживаются остаточные количества масла, пар часто не может использоваться непосредственно в оборудовании, применяемом для производства пищевых продуктов. Концентрации масла свыше 1 мг/л вызывают нарушения в работе резервуара питательной воды и котлоагрегата. Осуществление периодического контроля за уровнем концентрации масла и периодическая смена масляных фильтров увеличивают объем работ по техническому обслуживанию. С целью устранения этого недостатка в 1999 г. была разработана новая технология, позволяющая эксплуатировать поршневые двигатели без добавления масла и даже модернизировать существующие двигатели. Другим недостатком паровых двигателей являются высокий уровень шума и сильная вибрация при работе со скоростью вращения от 750 до 1500 об/мин.

Хотя в паровых турбинах может использоваться как насыщенный, так и перегретый пар, использование перегретого пара снижает расход пара и конденсацию (и, соответственно, повышает КПД) благодаря более высокой энтальпии сухого пара. В таблице 3.2 приведены характеристики выходной мощности двигателя при использовании перегретого и насыщенного пара при постоянном расходе пара 10 т/ч). В таблице 3.3 представлена технологическая оценка паровых двигателей.

Таблица 3.2. Выходная мощность парового двигателя при использовании сухого и насыщенного пара с расходом 10 т/ч.

Давление на входе [бар]	Давление выхлопа [бар]	Мощность двигателя [кВт]	
		насыщенный пар	перегретый пар
6	0,5	480	740
	2,0	320	500
16	0,5	740	1100
	3,0	460	710
	6,5	310	470
26	0,5	840	1200
	3,0	510	790
	6,5	410	670
	10,5	320	510

Таблица 3.3. Технологическая оценка паровых поршневых двигателей.

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none">• Пригодны для применения в диапазоне низкой мощности• Можно использовать насыщенный пар• Высокий КПД при работе с частичной нагрузкой• Модульная конструкция позволяет производить отбор пара при различном давлении• Не требуется добавление масла (в новых моделях двигателей), что исключает загрязнение пара	<ul style="list-style-type: none">• Максимальная выходная мощность одного парового двигателя составляет 1,2 МВт_э• Высокие затраты на техническое обслуживание и ремонт• Высокие уровни шума и вибрации• Остаточные количества масла в расширившемся паре в старых моделях двигателей

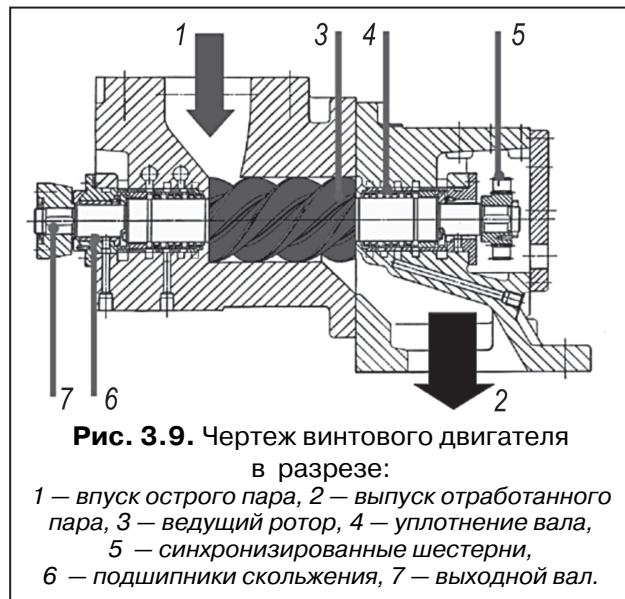
3.4 Винтовые паровые двигатели

Перспективной технологией производства энергии в диапазоне малой мощности является выработка энергии с применением винтового парового двигателя, разрабатываемого в настоящее время в Германии. Рабочий цикл винтового двигателя основан на стандартном процессе Ренкина. В отличие от технологического процесса паровой турбины в винтовом двигателе расширение пара происходит в двигателе винтового типа, соединенном с генератором, вырабатывающим электроэнергию. В настоящее время этот двигатель находится в стадии разработки и создания прототипа.

Винтовой двигатель разработан на основе технологии производства винтового компрессора. Такие двигатели пригодны для использования на установках ТЭЦ в диапазоне мощности от 200 до 2 500 кВт, в условиях, когда параметры пара могут изменяться в зависимости от содержания воды в топливе и используемой топливной биомассы, в применениях, требующих использования установки простой конструкции, предназначенной для работы в тяжелом режиме, с низкими затратами на эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт.

Принцип действия винтового двигателя

Винтовой двигатель представляет собой роторно-поршневой двигатель с переменной степенью сжатия. Подобно поршневым двигателям с переменной степенью сжатия оснащены закрытой рабочей камерой. Объем рабочей камеры изменяется в циклическом режиме, уменьшая содержание энергии в жидкости камеры. Основными компонентами винтового двигателя являются ведущий ротор, ведомый ротор и кожух, образующие V-образную рабочую камеру, объем которой зависит только от угла вращения. Пар поступает в кожух через впускное отверстие в канале, образуемом концами зубьев ротора. Во время вращения объем камеры увеличивается. Впуск пара прекращается, когда зубья ротора проходят направляющие кромки, отделяя камеру от впускного отверстия. На этом этапе начинается расширение пара, энергия которого преобразуется в механическую энергию выходного вала. Во время расширения объем камеры продолжает увеличиваться. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не начинается процесс выхлопа пара. Пар выходит из машины через выхлопное отверстие. Периодичность процесса во время одного оборота ведущего ротора зависит от числа зубьев на ведущем роторе. На рис. 3.9. представлен детальный чертеж винтового двигателя в разрезе.



Винтовой двигатель представляет собой высококомпактную машину с длительным сроком службы, требующую низких затрат на техническое обслуживание и ремонт. Двигатель, работа которого не зависит от колебаний качества пара, может эксплуатироваться при различных параметрах пара. Помимо расширения перегретого пара и насыщенного пара в технологических циклах, представленных на рис. 3.4 и 3.8, возможно также расширение влажного пара в двухфазном винтовом двигателе (рис. 3.10). В отличие от паровых турбин и паровых двигателей обычного типа в винтовых двигателях допускается содержание в паре водяных капель.

Хотя использование пара с низкой энтальпией ограничивает КПД, винтовой двигатель пригоден для использования в ряде применений, в которых не могут использоваться поршневые двигатели и паровые турбины. Применение винтовых двигателей с использованием горячей воды является особенно перспективным для использования на установках ТЭЦ, так как в этом случае не требуется паровой котел. На рис. 3.11 показана технологическая схема с устройством управления, применяемая при работе с частичной нагрузкой, в которой используются редукционный и дроссельный клапаны.

Преимущества технологии с применением винтового двигателя для установок ТЭЦ малой мощности:

- относительно высокий КПД (10-13%) на установках ТЭЦ малой мощности ($< 1\ 000\ \text{kВт}_3$);
- высокий КПД при работе с частичной нагрузкой в широком диапазоне нагрузок;
- обеспечивается нормальная работа при изменениях нагрузок от 30 до 100% номинального производства электроэнергии;
- работа двигателя не зависит от колебаний качества пара;
- полностью автоматический режим работы и удобство в обслуживании обеспечивают экономию затрат на персонал;
- винтовой двигатель представляет собой высококомпактную машину, требующую низких затрат на техническое обслуживание и ремонт.

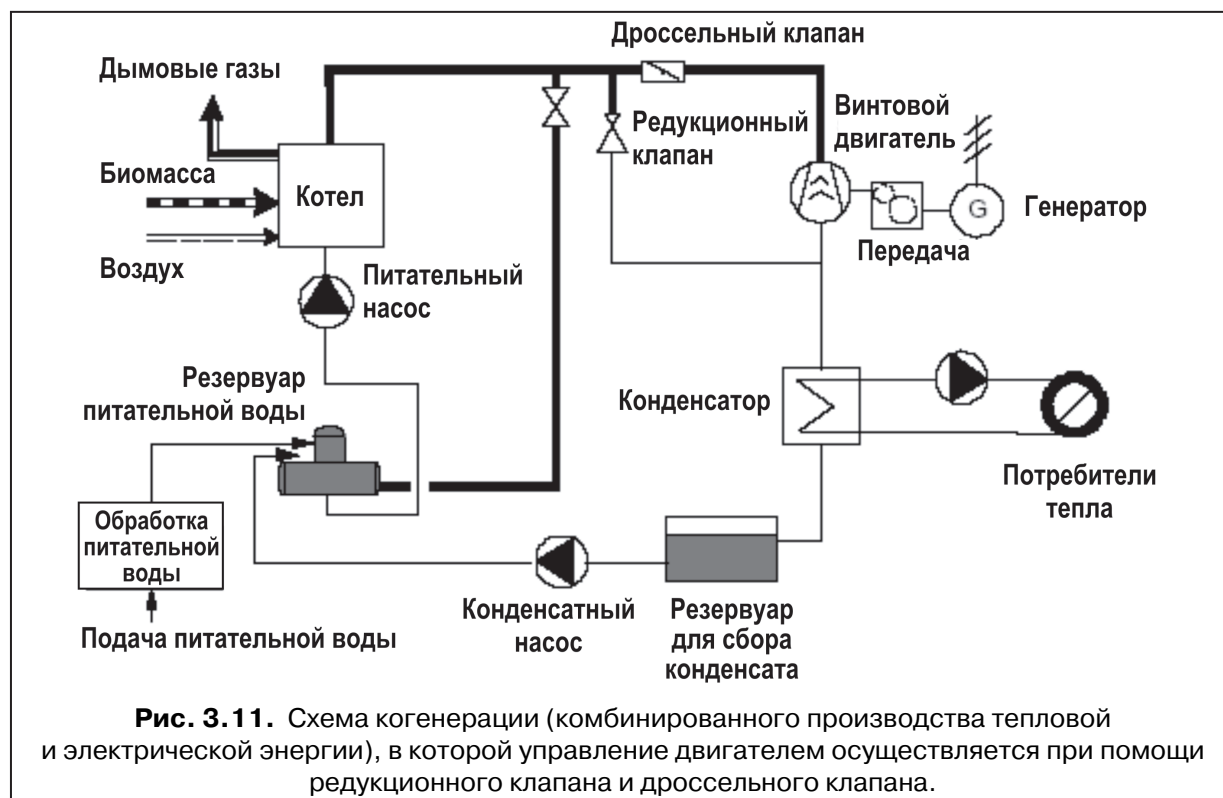


Рис. 3.11. Схема когенерации (комбинированного производства тепловой и электрической энергии), в которой управление двигателем осуществляется при помощи редукционного клапана и дроссельного клапана.

3.5 Органический цикл Ренкина

Органический цикл Ренкина, используемый при производстве электроэнергии, аналогичен стандартному процессу Ренкина. Существенным отличием является то, что вместо воды в нем используется органическое рабочее тело с благоприятными термодинамическими характеристиками. Это позволяет осуществлять эксплуатацию установок с использованием относительно низких температур (от 70 до 300°C). На геотермальных электростанциях установлено большое число установок с ОЦР; в настоящее время также используется несколько генераторов ОЦР, работающих на промышленном сбросном тепле.

Принцип работы и различные компоненты установки с ОЦР показаны на рис. 3.12. В установке ОЦР применяется процесс с полностью замкнутым циклом, в котором в качестве рабочего тела используется силиконовое масло. Органическое рабочее тело под давлением испаряется, подвергается частичному перегреву термомаслом и затем расширяется в осевой турбине, которая непосредственно соединена с асинхронным генератором (рис. 3.13). Затем силиконовое масло перед поступлением в конденсатор пропускается через регенератор (где происходит внутрицикловая рекуперация тепла).

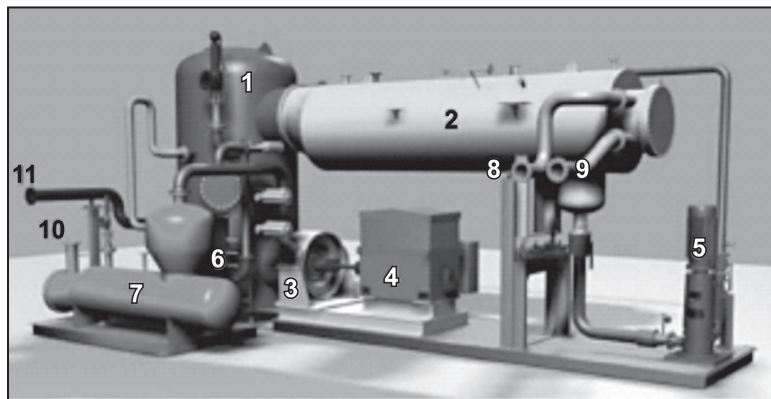
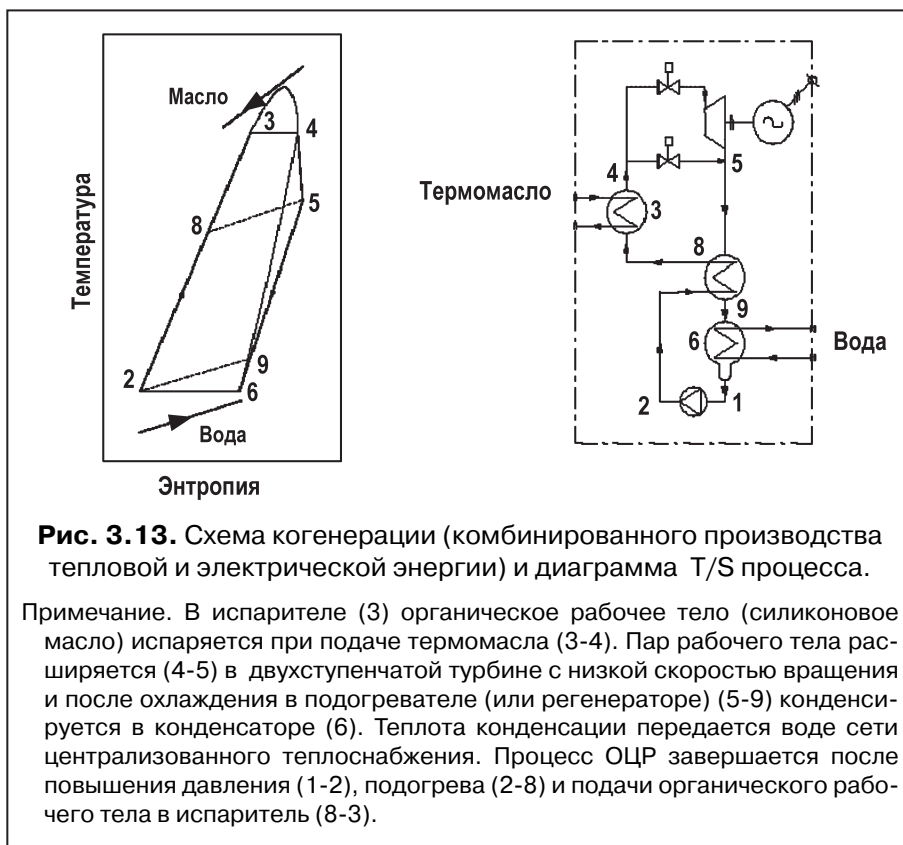


Рис. 3.12. Принцип работы и компоненты установки с ОЦР:
 1 – регенератор, 2 – конденсатор, 3 – турбина,
 4 – электрогенератор, 5 – циркуляционный насос,
 6 – подогреватель, 7 – испаритель, 8 и 9 – впуск и выпуск горячей воды, 10 и 11 – впуск и выпуск теплового масла.



Конденсация рабочего тела происходит при температуре, позволяющей получать горячую воду с температурой приблизительно от 80 до 100°C. Установки с ОЦР имеют относительно низкий уровень шума (наиболее высокое излучение шума имеют капсульные генераторы — около 85 дБ(А) на расстоянии 1 м).

Так как цикл процесса ОЦР является замкнутым, отсутствуют потери теплоносителя, что определяет низкий

уровень эксплуатационных затрат. Затраты включают только умеренные расходы на потребляемые материалы (смазочные материалы) и эксплуатационные затраты. Средний срок службы установок с ОЦР составляет более двадцати лет, что подтверждается опытом применения этой технологии в геотермальных установках. Силиконовое масло, используемое в качестве рабочего тела, имеет тот же срок службы, что и ОЦР, так как это масло не подвергается старению.

Как тепловое масло, так и процесс ОЦР применяются в энергетике в течение многих лет. В настоящее время на рынке появляются установки на биомассе, использующие ОЦР. В 2004 г. 11 установок с ОЦР действовали в Австрии, Швейцарии, Италии и Германии и в настоящее время в этих странах осуществляется строительство еще 13 установок (номинальной мощностью от 200 до 1500 кВт_э).

Таблица 3.5. Технологическая оценка процесса ОЦР.

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> • Надежная технология • Высокая степень управляемости и автоматизации • Высокий КПД при работе с частичной нагрузкой • Возможность утилизации низкотемпературного сбросного тепла • Не требуется обученный оператор • Низкие требования к техническому обслуживанию и ремонту и низкие затраты на техническое обслуживание и ремонт 	<ul style="list-style-type: none"> • Относительно высокие инвестиционные затраты (до настоящего времени не организовано серийное производство) • Отсутствует долговременный опыт применения биомассы • Органическое термомасло является воспламеняющимся токсичным материалом

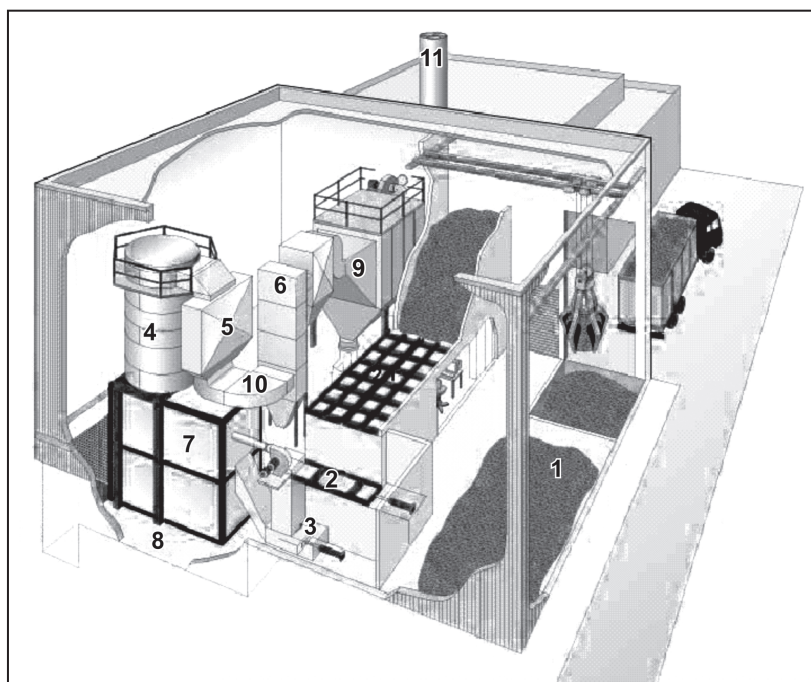


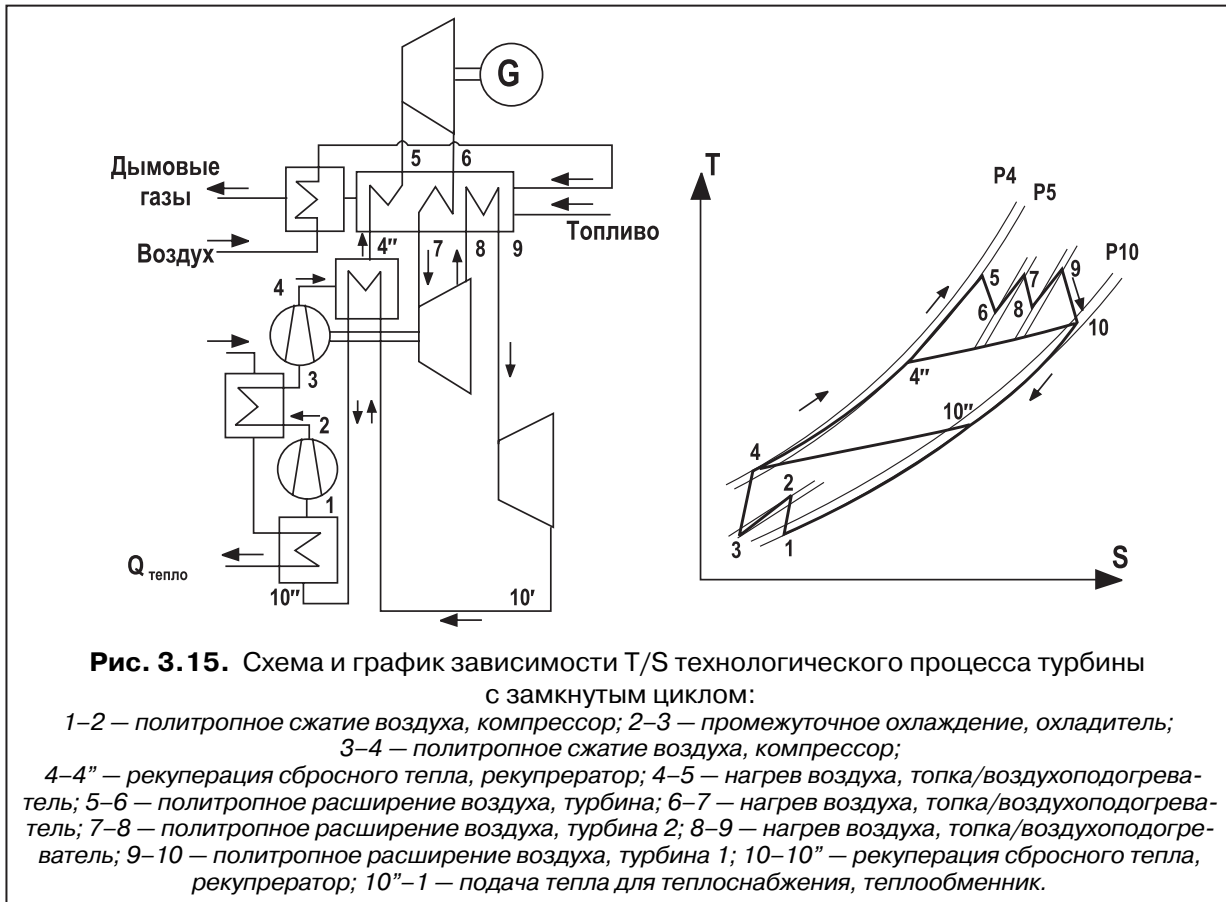
Рис. 3.14. Художественное изображение установки с ОЦР на биомассе, расположенной в Эсслингене, Германия.

1 — склад топлива; 2 — конвейер; 3 — бункер; 4 — котел с тепловым маслом; 5 — экономайзер (тепловое масло и горячая вода); 6 — подогреватель воздуха; 7 — котел; 8 — автоматическое золоудаление; 9 — очистка дымовых газов (электростатический фильтр); 10 — газоход; 11 — дымовая труба.

3.6 Турбины с замкнутым циклом

Конструкция турбин с замкнутым циклом аналогична конструкции турбин с открытым циклом. В этих турбинах в отличие от турбин с открытым циклом теплота передается сжатому воздуху с помощью высокотемпературного теплообменника. Как и турбины с незамкнутым циклом, эти турбины генерируют механическую энергию. Перед повторным сжатием расширившийся газ охлаждается в теплообменнике.

На рис. 3.15 показана схема термодинамического процесса турбины с замкнутым циклом с тремя ступенями расширения и двумя ступенями сжатия в сочетании с процессом рекуперации.

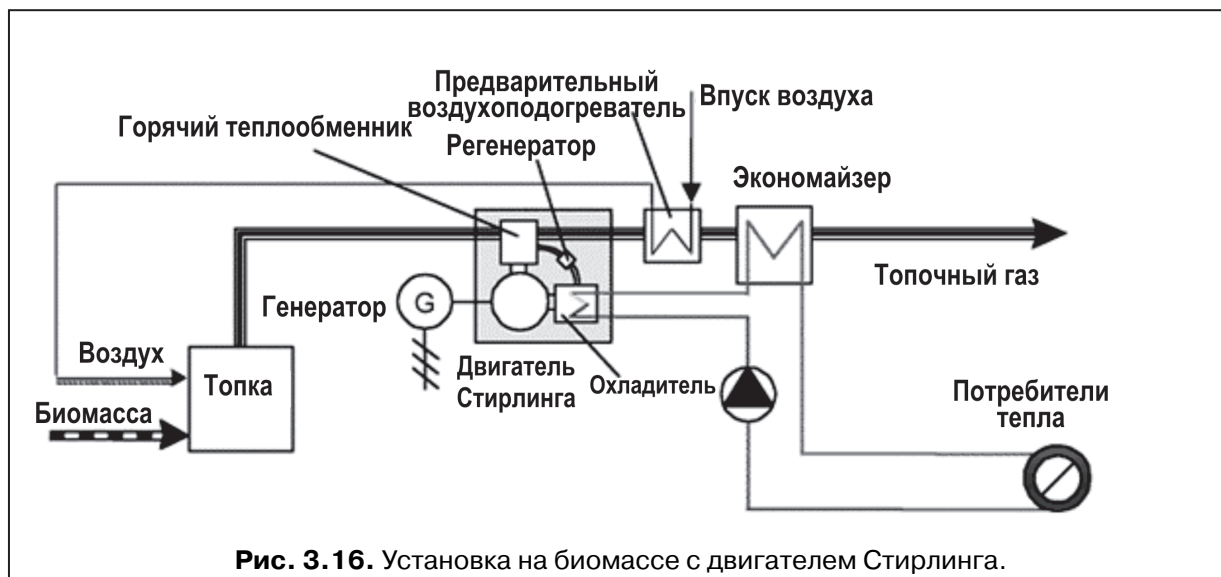


Одной из основных проблем применения турбин с замкнутым циклом является эксплуатация высокотемпературного теплообменника. Это устройство подвергается воздействию высоких температур (до 1000°C), а также частиц и агрессивных компонентов, которые могут содержаться в дымовых газах. Технологический процесс производства энергии из биомассы с применением турбины с замкнутым циклом все еще находится в стадии разработки. В настоящее время в Бельгии действует опытная установка мощностью 500 кВт. Так как многие технологические аспекты все еще остаются неясными, практическое применение этого процесса в промышленных масштабах в настоящее время не планируется.

3.7 Двигатели Стирлинга

Технология комбинированного производства тепловой и электрической энергии, основанная на применении двигателей Стирлинга, является перспективной технологией производства электроэнергии из биомассы на установках малой мощности. В настоящее время на энергетическом рынке отсутствует технология комбинированного производства тепловой и электрической энергии в диапазоне мощности менее 100 кВт.

Двигатели Стирлинга работают по замкнутому циклу, в котором рабочее газообразное тело попеременно сжимается в холодной полости и расширяется в горячей полости. Преимущество двигателя Стирлинга перед двигателем внутреннего сгорания состоит в том, что подача тепла в цикл осуществляется не посредством сжигания топлива внутри цилиндра, а из внешнего источника через теплообменник таким же образом, как это происходит в паровом котле. Следовательно, сжигание топлива в двигателе Стирлинга может осуществляться с применением опробованных топочных технологий, что позволяет исключить ряд проблем, связанных со сжиганием твердой топливной биомассы. Тепловая энергия, получаемая в результате сжигания топлива, передается к газообразному



рабочему телу через горячий теплообменник при высокой температуре, составляющей от 680 до 780°C. Тепло, которое не преобразуется в работу вала, поглощается охлаждающей водой в холодном теплообменнике при температуре 25–75°C (рис. 3.16). На рис. 3.17 показан принцип работы идеального двигателя Стирлинга, а на рис. 3.18 — механический принцип работы двигателя Стирлинга.

С тем, чтобы получить общий высокий КПД производства электроэнергии, температура горячего теплообменника должна быть как можно более высокой. Поэтому воздух для горения должен подогреваться топочным газом, выходящим из горячего теплообменника, с помощью предварительного воздухоподогревателя. Как правило, температура воздуха, идущего в топку, повышается до 500–600°C, что создает очень высокую температуру в топочной камере. Это может вызывать ошлакование золы и засорение топочных систем на биомассе и горячих теплообменников.

В замкнутом цикле Стирлинга можно использовать рабочий газ, который в большей степени пригоден для передачи тепла в цикл и из цикла, чем воздух. Наиболее эффективным является использование гелия и водорода, однако применение этих низкомолекулярных легких газов затрудняет создание эффективных уплотнений штока поршня, удерживающих газы в цилиндре и предотвращающих попадание смазочного материала в цилиндр. Предлагались различные решения этой проблемы, однако этот элемент по-прежнему остается одним из наиболее критических в системе двигателя. Привлекательным решением представляется создание двигателя в виде герметичного устройства, помещенного в герметизированный картер подобно электродвигателю, установ-

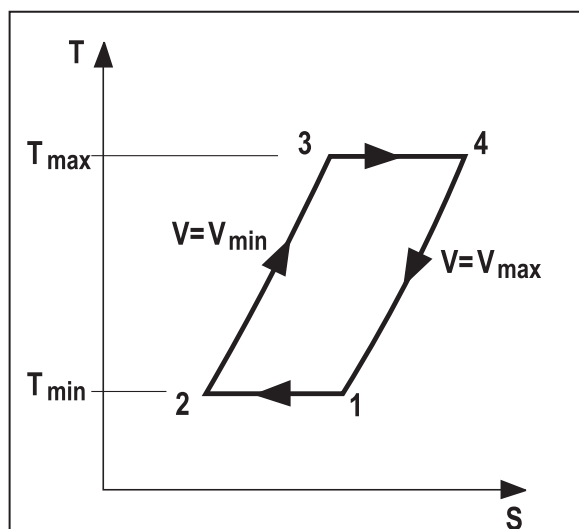


Рис. 3.17. Принцип работы двигателя Стирлинга:

- 1–2 — **сжатие**: газ сжимается при постоянной температуре. Поршень приводит в действие коленчатый вал;
- 2–3 — **нагрев при постоянном объеме**: газ нагревается, при этом его объем остается постоянным. Повышается давление;
- 3–4 — **расширение**: газ расширяется над поршнем при постоянной температуре. Поршень приводит в действие коленчатый вал;
- 4–1 — **Охлаждение**: газ охлаждается, при этом его объем остается постоянным. Давление понижается.

3. КОМБИНИРОВАННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

ленному в герметичный холодильный компрессор. В этом случае требуются только статические уплотнители, и единственными соединениями между оборудованием, установленным в герметичном картере, и наружным оборудованием являются кабельные соединения между генератором и электрической сетью.

Проблемы использования топливной биомассы в установках с двигателями Стирлинга связаны с передачей теплоты от сгорания топлива рабочему телу. Температура должна быть достаточно высокой для того, чтобы обеспечить получение приемлемых удельной выходной мощности и КПД, а теплообменник должен иметь такую конструкцию, чтобы минимизировать засорение оборудования.

Высокая температура и риск засорения не позволяют использовать двигатели Стирлинга, предназначенные для работы на природном газе, так как узкие каналы в горячем теплообменнике засоряются менее чем через час работы на топливной биомассе. Риск засорения оборудования в процессах со сжиганием биомассы связан в основном с образованием аэрозолей и конденсацией паров золы при охлаждении топочного газа.

Преимуществом двигателя Стирлинга является его высокий теоретический КПД, который в практических условиях применения снижается в результате трения, ограниченной теплопередачи и рекуперации теплоты, потерь давления и воздействия других факторов. Действительный КПД выработки электроэнергии составляет от 15 до 30%.

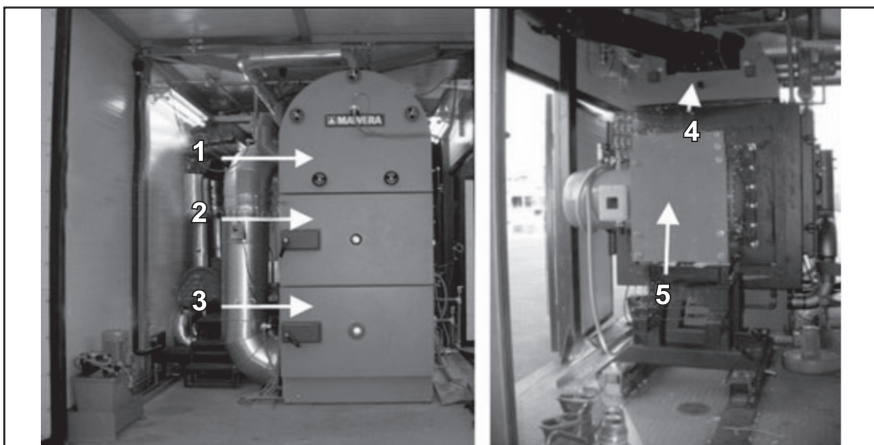


Рис. 3.19. Экспериментальная установка с двигателем Стирлинга мощностью 35 кВт_э:

1 — экономайзер и подогреватель воздуха, 2 — вторичная топочная камера, 3 — первичная топочная камера, 4 — экономайзер и подогреватель воздуха, 5 — двигатель Стирлинга.

Примечание. Установки оснащены топками с нижней подачей топлива. Для удобства технического обслуживания двигатель Стирлинга установлен в горизонтальном положении за топочной камерой. С целью обеспечения компактности конструкции установки подогреватель воздуха и экономайзер установлены на верхней поверхности топки.

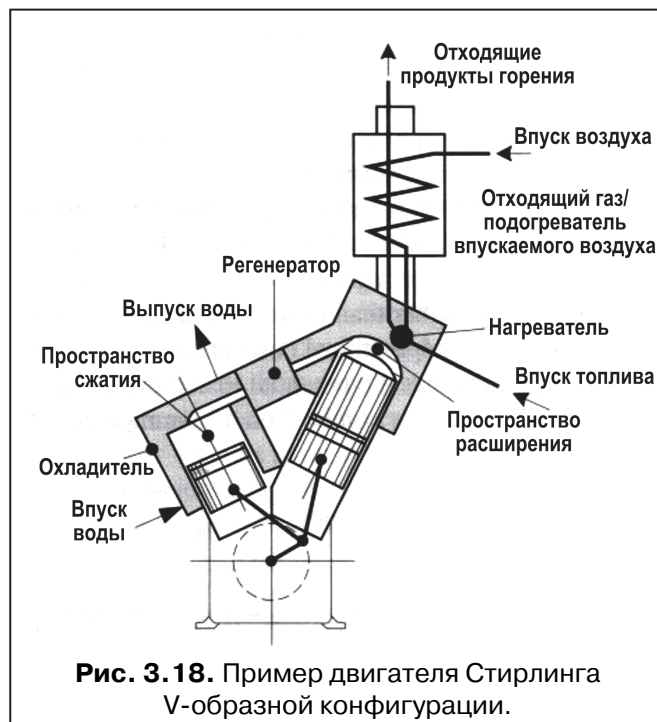


Рис. 3.18. Пример двигателя Стирлинга V-образной конфигурации.

Разработка установок ТЭЦ на биомассе, основанных на процессе с двигателем Стирлинга, достигла фазы демонстрационной эксплуатации. В период между 1999 г. и 2003 г. были введены в эксплуатацию демонстрационные объекты, финансируемые Австрией, Данией и ЕС. Австрийская фирма «Мавера» (Mawera) планирует выпустить мелкую партию из семи установок мощностью 35 кВт_э.

Часть А: Сжигание биомассы

в 2004-2005 гг. На рис. 3.19 показана экспериментальная установка мощностью 35 кВт_э, действующая в Австрии с сентября 2002 г.

Таблица 3.6. Технологическая оценка процесса с двигателем Стирлинга.

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none">• Любой вид топлива• Низкие требования к характеристикам топлива• Низкие требования к техническому обслуживанию и ремонту, так как установка содержит малое число двигающихся деталей и применяется «внешнее сжигание» топлива• Возможность снижения выбросов CO и CH₄ благодаря внешнему сжиганию (био) газа• Компактная конструкция• Полностью автоматическая эксплуатация• Низкое излучение шума	<ul style="list-style-type: none">• Не имеется надежных методов герметизации• Высокие удельные затраты на инвестиции• Высокий износ теплообменника под воздействием высокотемпературного пара• Требуется автоматическая система очистки теплообменника• Отсутствие долговременного опыта эксплуатации котлов, работающих на биомассе• Применение ограничено использованием незагрязненного древесного топлива

3.8 Заключение и выводы

Применяемые в настоящее время процессы производства электроэнергии с использованием установок на биомассе, паровых турбин и паровых поршневых двигателей являются опробованными технологиями. Мощность паровых двигателей составляет приблизительно от 50 кВт_э до 1 МВт_э, а паровые турбины применяются в диапазоне мощностей от 0,5 до 500 МВт_э и более. Максимальная мощность установки на биомассе составляет около 50 МВт_э.

Паросиловые установки, эксплуатируемые в режиме комбинированного производства тепловой и электрической энергии, в основном пригодны для выработки технологического тепла, что обеспечивает длительные периоды эксплуатации. Паровые поршневые двигатели могут эксплуатироваться в одноступенчатом или многоступенчатом режиме с КПД от 6 до 10, 12 и 20% соответственно. Эксплуатация паровых двигателей может осуществляться с использованием насыщенного пара, что уменьшает инвестиционные затраты. В состав паротурбинных установок большой мощности входят водотрубные котлы и перегреватели, позволяющие улучшить параметры пара и использовать многоступенчатые турбины. Также для повышения КПД применяются различные технологические меры, такие как подогрев питательной воды и промежуточный отбор.

Так как потенциал применения крупных электростанций на биомассе ограничен возможностями транспортировки биомассы, интересным вариантом представляется совместное сжигание биомассы и ископаемых топлив. Хотя совместное сжигание биомассы снижает уровень выбросов NO_x и SO_x, необходимо учитывать ее негативное воздействие на выходную мощность котла, КПД, степень коррозии и засорение. Также щелочные металлы и хлор, содержащиеся в биомассе, могут оказывать негативное воздействие на степень очистки дымовых газов и состав золы. Как правило, доля тепла, вырабатываемого от сжигания биомассы, составляет от 5 до 10% всего вырабатываемого тепла, что не оказывает значительного воздействия на степень очистки и золу. Основной технологией совместного сжигания биомассы с другими видами топлива является пылевидное сжигание, например, биотоплива и угля. Совместное сжигание биомассы может производиться также в котлоагрегатах с топками с псевдоожиженным слоем, нижней подачей топлива и колосниковыми решетками, что расширяет возможности применения топлива различной влажности и различных размеров.

3. КОМБИНИРОВАННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В качестве альтернативы паросиловым установкам обычного типа в диапазоне мощностей от 0,5 до 2 МВт_э могут использоваться различные варианты органического цикла Ренкина (ОЦР). В этих процессах используются более низкие температуры, что позволяет вместо дорогостоящего парового котла применять установку для сжигания топлива с котлом с термомаслом. Также генератор ОЦР может работать без перегревателя. Также возможно получение аналогичных или несколько более высоких КПД благодаря использованию двухступенчатых турбин. Технология ОРЦ опробована в геотермальных применениях. В настоящее время действуют несколько установок, работающих на биомассе, и ожидается, что технология процесса будет совершенствоваться и далее, будут снижены затраты, связанные с применением этого процесса.

В области производства энергии в диапазоне малой мощности представляет интерес двигатель Стирлинга с внешней топкой для сжигания биомассы, в котором в качестве рабочего агента используются воздух или гелий. Наиболее ответственным компонентом таких установок является газовый теплообменник, работающий с высокотемпературными дымовыми газами, получаемыми от сжигания биомассы. Наиболее приемлемым видом топлива является местная древесина. Имеется опыт эксплуатации прототипной установки мощностью 35 кВт_э, электрический КПД_э которой достигает 20% при эксплуатации в режиме комбинированного производства тепловой и электрической энергии. Предполагается, что совершенствование технологического процесса и повышение мощности установки до 150 кВт_э позволит довести КПД до 28%. Прогнозируемые инвестиционные и эксплуатационные затраты на эти установки значительно ниже, чем затраты на паросиловые установки. Если такие КПД будут получены на практике без возникновения эксплуатационных проблем и если будет осуществляться серийное производство двигателей Стирлинга, в будущем их можно будет эффективно использовать в производстве электроэнергии при сжигании биомассы.

В различных проектах по разработке установок средней мощности изучаются возможности применения турбин с замкнутым циклом (турбин с горячим воздухом). Однако получение более высоких по сравнению с паровыми турбинами КПД этих турбин требует использования сложных процессов многоступенчатого расширения, рекуперации и многоступенчатого сжатия. Применение существующих компонентов с использованием простой схемы технологического процесса позволит, возможно, получить средний КПД. Коммерческое внедрение этих технологий требует дальнейшей разработки технологического процесса и оборудования (в особенности конструкций теплообменника и метода отделения частиц, содержащихся в горячем газе).

4 ВЫБРОСЫ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ СГОРАНИИ БИОМАССЫ

4.1 Введение

В настоящей главе рассматриваются меры по снижению уровня загрязнения окружающей среды выбросами, образующимися при полном и неполном сгорании биомассы.

В первую очередь описываются различные компоненты выбросов, а также их источники и воздействие на климат, окружающую среду и здоровье людей. Затем приводится обзор типичных уровней выбросов различных (промышленных) установок, работающих на биомассе. Указанные значения уровней выбросов в значительной степени зависят от характера мер, применяемых для их снижения, и приводятся в качестве справочных значений, отражающих состояние существующих установок на биомассе.

4.2 Выбросы, образующиеся при полном сгорании

Следующие выбросы в атмосферу образуются в результате полного сгорания топлива на установках, работающих на биомассе.

Двуокись углерода (CO_2)

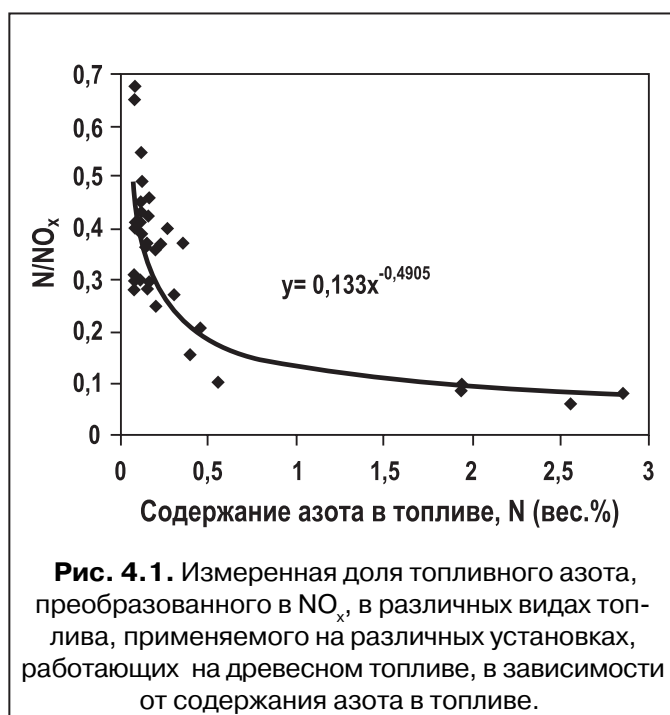
Двуокись углерода, источником которой служит содержащийся в топливе углерод, является основным продуктом сгорания всех видов топливной биомассы. В целом выброс CO_2 в атмосферу является нежелательным, поскольку считается основной причиной, вызывающей парниковый эффект. Однако при сжигании древесной щепы количество выделяемого CO_2 не превышает количества CO_2 , которое было связано древесиной во время роста дерева. Также при сжигании щепы выделяется такое же количество CO_2 , что и при разложении древесины, которое является основной альтернативой использованию древесины для производства энергии. Таким образом, древесная щепа считается нейтральным материалом по CO_2 .

Оксиды азота (NO_x)

Сумма оксидов азота NO и NO_2 , обозначаемая NO_x , образуется в процессе горения в результате трех различных процессов:

- термический NO_x образуется при высокой температуре (соответствующие концентрации образуются при температуре $>1300^\circ C$) в результате окисления азота воздуха;
- быстрый NO_x образуется в результате сгорания углеводородов молекулярного азота с образованием свободных радикалов;
- топливный NO_x образуется из азота, содержащегося в топливе.

Обычно NO_x как продукт окисления образуется в максимальном количестве при высоком качестве горения топлива. Так как температура сгорания биомассы в современных



4. ВЫБРОСЫ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ СГОРАНИИ БИОМАССЫ

технологических процессах составляет от 800 до 1200°C, топливный NO_x играет наиболее важную роль в составе выбросов.

Выбросы топливного NO_x возрастают с увеличением содержания азота в биомассе, коэффициента избытка воздуха и температуры горения (рис. 4.1). На рис. 4.2 показаны относительные характеристики выбросов топливного, термического и быстрого NO_x в зависимости от температуры горения.

Обычно уровень выбросов NO_2 значительно ниже, чем уровень выбросов NO . Уровень выбросов NO_x можно уменьшить с помощью первичных и вторичных мер.

Закись азота (N_2O)

Выбросы N_2O образуются при полном окислении содержащегося в топливе азота. Хотя уровни выбросов N_2O по данным замеров на установках, осуществляющих сжигание биомассы, являются очень низкими, они в некоторой степени способствуют образованию парникового эффекта и разрушению озона в атмосфере. Выбросы N_2O можно уменьшить с помощью первичных мер снижения уровня выбросов.

Оксиды серы (SO_x)

Оксиды серы образуются в результате полного окисления содержащейся в топливе серы. При этом образуется в основном SO_2 (>95%). Однако при более низких температурах также возможно образование некоторого количества SO_3 (<5%). Источником серы, выделяющейся при сжигании древесной щепы, являются соединения серы, поглощенные деревом в период его роста. Следовательно, сжигание щепы не изменяет общего количества серы в окружающей среде, однако выброс серы с дымовыми газами способствует загрязнению воздуха. Вместе с тем доставленная из леса чистая древесина содержит незначительное количество серы, и содержание серы в щепе часто имеет значения, находящиеся ниже предела обнаружения лабораторных приборов. Содержащаяся в топливе сера не полностью преобразуется в SO_x ; значительная ее часть остается в золе, а некоторая часть при более низких температурах выделяется в форме соли (K_2SO_4) или в форме H_2S . Выбросы SO_2 можно уменьшить с помощью первичных мер снижения уровня выбросов, таких как введение извести или известняка, или вторичных мер.

При сжигании щепы на отопительных установках образуется значительно меньшее количество выбросов SO_x , чем при сжигании мазута или угля, которые часто заменяет биомасса. Если альтернативным топливом является природный газ, производство которого обеспечивает отсутствие в нем серы, использование щепы в качестве топлива не дает никаких преимуществ в отношении содержания SO_x в выбросах.

Хлористый водород (HCl)

Часть содержащегося в топливе хлора выделяется в форме HCl . Древесина имеет очень низкое содержание хлора. Однако возможно образование значительных количеств HCl из топливной биомассы, содержащей значительное количество хлора, та-

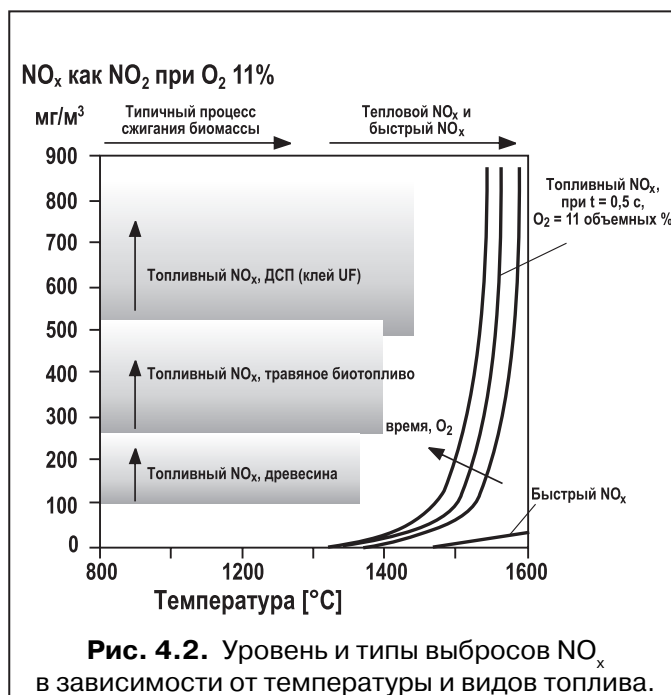


Рис. 4.2. Уровень и типы выбросов NO_x в зависимости от температуры и видов топлива.

кой как многолетний злак *Miscanthus*, трава или солома, иногда используется щепа из лесов, расположенных на морском побережье, содержащая морскую соль, поглощенную из морского тумана.

Содержащийся в топливе хлор не полностью преобразуется в HCl; его основная часть образует соли (KCl, NaCl) в результате реакции с K и Na, а микроэлементы выделяются в форме диоксинов и компонентов органического хлора. Как и двуокись хлора, хлористый водород HCl способствует окислению, однако быстрее конденсируется (образуя соляную кислоту) и, следовательно, не только может вызывать повреждение материалов в месте образования, но также наносить вред растениям.

Выбросы HCl можно уменьшить посредством промывки топлива, что в ряде случаев используется для очистки соломы, или с помощью вторичных мер снижения уровня выбросов.

Частицы

Частицы образуются из нескольких источников. Они включают зольную пыль, образующуюся в результате уноса частиц золы дымовыми газами, и соли (KCl, NaCl, K_2SO_4), образующиеся в результате реакций между K или Na и Cl или S. Другие частицы, образующиеся в результате неполного сгорания, рассматриваются в разделе 4.3. На крупных установках, работающих на биомассе, для снижения уровня выбросов частиц применяются вторичные меры. Оптимальная конструкция топочной камеры позволяет в некоторой степени предотвратить вынос зольной пыли, увлекаемой с топочным газом, из камеры, которая оседает на дно камеры и затем удаляется как зольный остаток.

Тяжелые металлы

Все виды топлива из сырой биомассы содержат некоторое количество тяжелых металлов (наиболее важными из которых являются Cu, Pb, Cd, и Hg). Эти тяжелые металлы остаются в золе или испаряются, оседают на поверхности частиц, выбрасываемых в атмосферу, или остаются внутри зольных частиц. Загрязненная биомасса, например пропитанная или покрашенная древесина, может содержать значительно большее количество тяжелых металлов. Одним из примеров является содержание Cr и As в пропитанной древесине. Выбросы тяжелых металлов можно уменьшить с помощью вторичных мер снижения их уровня.

4.3 Выбросы, образующиеся при неполном сгорании

Нижеуказанные вещества выбрасываются в атмосферу в результате неполного сгорания топлива в установках на биомассе. Как указывалось ранее, выбросы, образующиеся при неполном сгорании, могут быть вызваны:

- неправильным смешением воздуха и топлива в топливной камере, в результате чего образуются локальные зоны с недостатком воздуха;
- недостаточным количеством кислорода;
- низкой температурой горения;
- недостаточным временем пребывания.

Эти переменные величины связаны друг с другом, хотя в случаях, когда имеется достаточное количество кислорода, наиболее важной переменной является температура.

Моноокись углерода (CO)

Преобразование топлива в CO_2 включает несколько элементарных этапов и путей различных реакций. CO является наиболее важным промежуточным соединением.

В присутствии кислорода оно окисляется, образуя CO_2 . Скорость окисления CO в CO_2 зависит в основном от температуры. Содержание CO может считаться хорошим показателем качества сжигания топлива.

Крупные установки, сжигающие биомассу, обычно имеют лучшие возможности для оптимизации технологического процесса, чем установки малой мощности. Поэтому уровень выбросов обычно выше на установках малой мощности. На рис. 4.3 показана зависимость уровня выбросов CO от коэффициента избытка кислорода, на рис. 4.4 — зависимость уровня выбросов CO от температуры горения. В данной системе существует оптимальный коэффициент избытка воздуха: высокие коэффициенты избытка воздуха снижают температуру горения, а более низкие вызывают неправильное смешение топлива с воздухом. Кроме того, достаточное время пребывания является важным условием обеспечения необходимого уровня выбросов CO в основном потому, что CO является более поздним промежуточным соединением, чем углеводороды.

Несгоревшие углеводороды (C_xH_y)

Метан (CH_4), являющийся газом прямого парникового действия, обычно рассматривается отдельно от других углеводородов. При сжигании биомассы он становится важным посредником в преобразовании содержащегося в топливе углерода в CO_2 и водорода в H_2O . Другие несгоревшие углеводороды (C_xH_y), которые также называют неметановыми летучими органическими соединениями, тоже являются продуктами неполного сгорания. Они образуются при выходе летучих из топлива. Уровень выбросов C_xH_y , являющихся более ранними посредниками, чем CO , в целом ниже. Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), представляющие собой группу, содержащую сотни органических компонентов, состоящих из двух или более ароматических колец, составляют особую категорию углеводородов в связи с их канцерогенностью. CO , выбросы метана, НЛОС и ПАУ образуются при слишком низкой температуре горения, слишком коротком времени пребывания и недостатке кислорода.

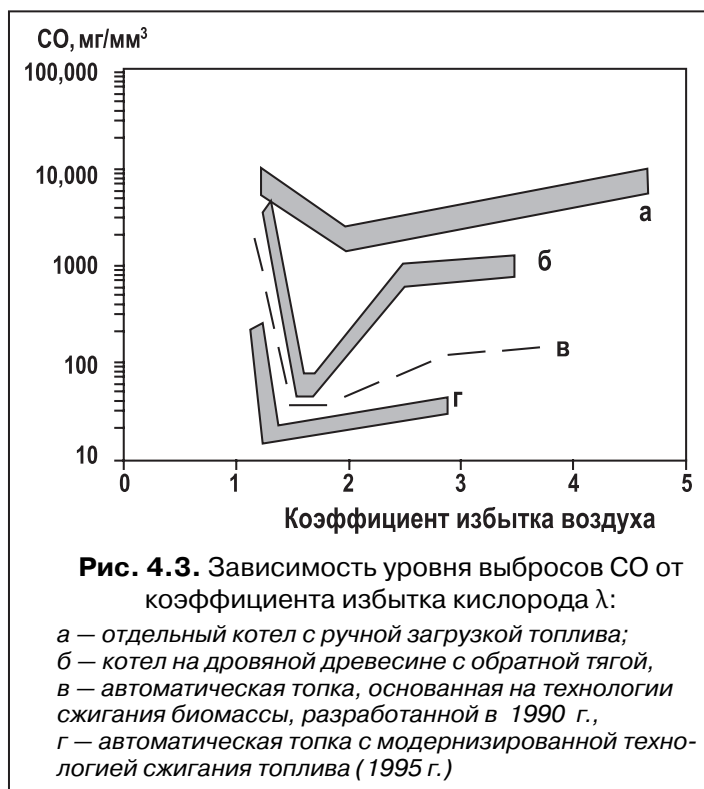


Рис. 4.3. Зависимость уровня выбросов CO от коэффициента избытка кислорода λ:

а — отдельный котел с ручной загрузкой топлива;
 б — котел на дровяной древесине с обратной тягой,
 в — автоматическая топка, основанная на технологии сжигания биомассы, разработанной в 1990 г.,
 г — автоматическая топка с модернизированной технологией сжигания топлива (1995 г.)

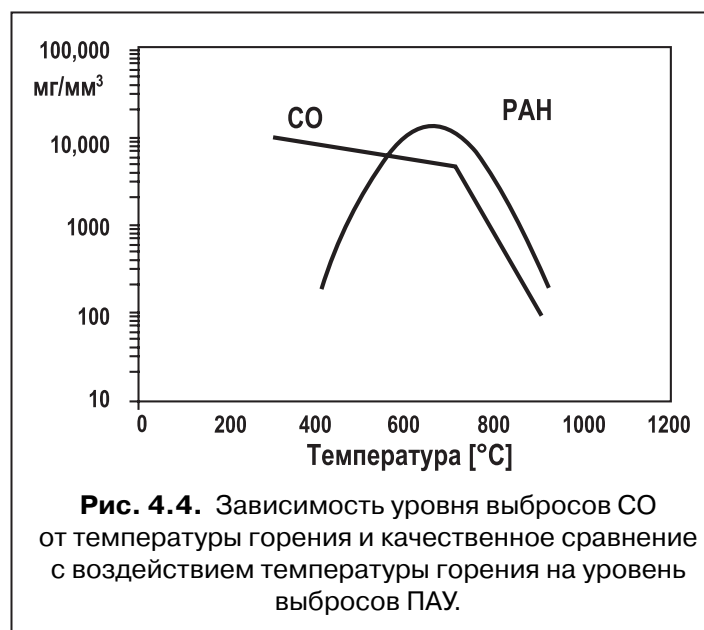


Рис. 4.4. Зависимость уровня выбросов CO от температуры горения и качественное сравнение с воздействием температуры горения на уровень выбросов ПАУ.

Частицы

Выброс частиц, образующихся в результате неполного сгорания, происходит в форме частиц сажи, угля или конденсата тяжелых углеводородов (смола). Сажа состоит в основном из углерода и образуется в результате отсутствия кислорода в зоне пламени и/или локального угасания пламени. Частицы угля, имеющие очень низкую удельную плотность, могут вовлекаться в поток дымового газа, в особенности при высокой скорости потока. Выбросы частиц могут происходить при слишком низкой температуре горения, слишком коротком времени пребывания и недостатке кислорода. Однако из-за разнообразия компонентного состава выбросов частиц снижение уровня выбросов частиц не является такой простой задачей, как в случае с CO, за исключением частиц, состоящих из конденсировавшихся тяжелых углеводородов. На крупных установках, работающих на биомассе, для дальнейшего снижения уровня выбросов частиц используются вторичные меры. Оптимальная конструкция топочной камеры позволяет в некоторой степени предотвратить вынос зольной пыли, увлекаемой с топочным газом, из камеры, которая оседает на дно камеры и затем удаляется как зольный остаток.

Полихлорированные диоксины и фураны (ПХДД/Ф)

Полихлорированные диоксины и фураны представляют собой группу высокотоксичных компонентов. Они могут образовываться в процессе сгорания содержащей хлор топливной биомассы при температуре 180-500°C и в присутствии углерода, катализатора (Cu) и кислорода. Так как выбросы ПХДД/Ф в значительной степени определяются условиями, при которых происходит сгорание и охлаждение топливного газа, на практике их уровень колеблется в широких пределах. В основном уровень выбросов ПХДД/Ф, образующихся при сгорании биомассы на установках, использующих свежую древесину (например, лесную щепу) в качестве топлива, значительно ниже уровня, представляющего риск для здоровья людей. Однако при сжигании окрашенной, пропитанной, содержащей хлор или Cu древесины могут легко образовываться диоксины, если топка установки специально не оборудована для сжигания такого топлива. Выбросы ПХДД/Ф можно уменьшить с помощью первичных и вторичных мер снижения уровня выбросов.

Аммиак (NH₃)

Неполное преобразование NH₃ в окисленные азотсодержащие компоненты может приводить к образованию малых количеств аммиака. Это происходит в отдельных случаях при очень низкой температуре горения. Также меры по снижению вторичного NO_x посредством введения NH₃ могут приводить к увеличению уровня выброса NH₃ в результате его просачивания. Выбросы NH₃ можно уменьшить с помощью общих первичных мер снижения уровня выбросов продуктов неполного сгорания и посредством оптимизации процесса введения NH₃.

Озон в приземном слое (O₃)

O₃ представляет собой вторичный продукт горения, образующийся в результате реакций в атмосфере с участием CO, CH₄, НЛОС и NO_x. Он является газом прямого парникового действия, который также оказывает воздействие на окружающую среду в локальном и региональном масштабе и является крайне нежелательным побочным продуктом установок, осуществляющих сжигание биомассы. Выбросы NH₃ можно косвенно уменьшить посредством снижения выбросов от неполного сгорания и с помощью мер снижения уровня выбросов NO_x.

4.4 Уровни выбросов

Все выбросы, образующиеся в результате сгорания топлива, можно подразделить на выбросы, характеристики которых определяются технологией сжигания топлива и

4. ВЫБРОСЫ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ СГОРАНИИ БИОМАССЫ

условиями технологического процесса, и выбросы, характеристики которых определяются свойствами топлива. Количество загрязняющих веществ, выбрасываемых в окружающую среду различными установками на биомассе, в значительной степени определяется применяемой технологией сжигания топлива. В основном имеющиеся данные относятся к технологиям сжигания одного вида топлива. Для того, чтобы выполнить объективную оценку уровней выбросов различных установок, предназначенных для сжигания биомассы, необходимо получить данные о выбросах в широком диапазоне сочетаний различных технологий сжигания топлива.

При сравнении уровней выбросов различных установок, сжигающих биомассу, проблема заключается в том, что используется большое число различных единиц. Так как обычно не указываются базовые данные, необходимые для пересчета уровней выбросов в различные единицы, приходится использовать предполагаемые значения.

В таблицах 4.1 и 4.2 указаны типичные диапазоны уровней выбросов для промышленных топков на древесном топливе.

Таблица 4.1. Выбросы, свойства которых в основном определяются технологией сжигания топлива и условиями технологического процесса.

Уровень требований стандарта	Низкие требования стандарта	Высокие требования стандарта
Коэффициент избытка воздуха, λ	2–4	1,5–2
Компонент	Выбросы ($\text{мг}/\text{м}^3_0$ при 11% O_2)	
СО	1000–5000	20–250
C_xH_y	100–500	< 10
ПАУ	0,1–10	< 0,01
Частицы	150–500	50–150

Таблица 4.2. Выбросы, характеристики которых определяются свойствами топлива.

Компонент	Тип топлива	Типичные уровни выбросов ($\text{мг}/\text{м}^3_0$ при 11% O_2)*
NO_x	Древесина (мягких пород).	100-200
	Древесина (твердых пород).	150-250
	Солома, трава, многолетний злак <i>Miscanthus</i> , ДСП.	300-800
	Отходы древесины, включая образовавшиеся в результате разрушения или сноса зданий и сооружений.	400-600
HCl	Древесина.	<5
	Отходы древесины, включая образовавшиеся в результате разрушения или сноса зданий и сооружений, солома, трава, многолетний злак <i>Miscanthus</i> , ДСП (NH_4Cl).	неочищенный газ: 100-1000 с поглощением HCl: <20
Частицы	Древесина.	после циклона: 50-150
	Солома, трава, многолетний злак <i>Miscanthus</i> , ДСП. Отходы древесины, включая образовавшиеся в результате разрушения или сноса зданий и сооружений.	после циклона: 150-1000 после мешочного фильтра или ЭСП: <10

Σ Pb, Zn, Cd, Cu	Древесина. Отходы древесины, включая образовавшиеся в результате разрушения или сноса зданий и сооружений.	<1 неочищенный газ: 20-100 после мешочного фильтра или ЭСП: <5
ПХДД/Ф (в нг ТЕ (диоксинов) /м ³ ₀)	Древесина. Отходы древесины, образовавшиеся в результате разрушения или сноса зданий и сооружений.	0,01 – 0,5 (типичное значение <0,1) 0,1–20 (типичное значение = 2)

* По данным исследований уровней выбросов, проведенных в Швейцарии (топок с нижней загрузкой топлива, топок с колосниковыми решетками, топок для сжигания пыли), уровни выбросов различных автоматических промышленных топок, предназначенных для сжигания древесины; выбросы ПХДД/Ф в нг ТЕ/м³0).

Таблица 4.3 содержит данные выполненного в Австрии исследования по оценке уровней выбросов различных установок, работающих на биомассе, мощностью от 0,5 до 10 МВт_т, использующих в качестве топлива ДСП, древесную щепу, МДФ и кору.

Таблица 4.3. Уровни выбросов различных установок, работающих на древесине, использующих в качестве топлива ДСП, древесную щепу, МДФ и кору.

Компонент	Выбросы (мг/м ³ ₀ при 11% O ₂)	Наблюдения отсутствуют
CO	125 – 1000	25
C _x H _y	5,0 – 12,5	25
ПАУ	0,00006 – 0,06	Неизвестны
Бензопирин	5·10 ⁻⁶ – 1,0·10 ⁻³	4
NO _x (в форме NO ₂)	162 – 337	22
Частицы	37 – 312	29
SO ₂	19 – 75	17
Cl	1 – 10	12
F	0,25	Неизвестны

Из таблицы 4.3 видно, что выбросы SO₂, Cl и F имеют относительно низкий уровень, что обусловлено низким содержанием в топливе этих компонентов. Выбросы C_xH_y, ПАУ и бензопирин также имеют низкий уровень. Эти выбросы могут быть снижены посредством дальнейшей оптимизации процесса сжигания топлива. Данные исследования свидетельствуют об относительно высоком уровне выбросов CO, в особенности на старых установках, предназначенных для сжигания биомассы.

Выбросы CO могут быть снижены за счет сокращения числа прерываний работы топки в результате повышения уровня контроля процесса горения (см. раздел 4.5.4). Применение/оптимизация ступенчатого сжигания топлива также позволяют снизить уровень выбросов NO_x (см. раздел 4.5.5). По данным измерений, полученным в рамках проведенного в Австрии исследования, были сделаны следующие выводы:

- Уровень выбросов обычно уменьшается с увеличением мощности установки, предназначенной для сжигания биомассы, благодаря более совершенному управлению процессом горения и применению эффективных системы газоочистки. Установки, предназначенные для сжигания биомассы, мощностью более 4 МВт_т кроме циклона, который обычно используется на установках малой мощности, часто имеют электростатические фильтры и устройства конденсации водяных паров, содержащихся в дымовых газах. Как правило, инвестиционные затраты на такое оборудование на установках малой мощности не являются экономически целесообразными. Однако на котельных установках мощностью менее 1 МВт_т, действующих в Скандинавских

странах, были реализованы экономичные системы конденсации водяных паров, содержащихся в дымовых газах.

- Исключением являются выбросы NO_x . Выбросы топливного NO_x возрастают с увеличением содержания азота в биомассе, коэффициента избытка воздуха и температуры горения. При более низких температурах горения воздействие температуры является более важным, чем воздействие коэффициента избытка воздуха, позволяя получить более низкий уровень выбросов NO_x на установках меньшей мощности, предназначенных для сжигания биомассы.

4.5 Первичные меры по снижению уровня выбросов

Снижение уровня выбросов вредных веществ достигается посредством либо предотвращения создания таких веществ (первичные меры), либо удаления этих веществ из топочного газа (вторичные меры). В настоящем разделе описываются меры по снижению первичных выбросов, образующихся при неполном сгорании, и NO_x .

Первичные меры по снижению уровня выбросов направлены на снижение образования и/или снижение уровня выбросов в топочной камере. С этой целью применяется ряд мер, включая описываемые в настоящей работе:

- изменение уровня влажности топлива;
- изменение размеров частиц топлива;
- выбор соответствующего оборудования для сжигания топлива;
- оптимизация управления процессом горения;
- ступенчатый впуск воздуха при сжигании топлива;
- ступенчатое сжигание и дожиг топлива.

На практике эти меры часто взаимосвязаны.

4.5.1 Изменение уровня влажности топлива

Влажность биомассы может варьироваться в широких пределах. Влажность лесосечных отходов, подвергнутых сушке, может снижаться до 10% (влажная основа), а в свежесрубленной лесной древесине может достигать 60%.

Высокая влажность топлива затрудняет получение достаточно высокой температуры в топочной камере. Часто требуется получить температуру более 850°C с тем, чтобы обеспечить достаточно низкий уровень выбросов CO . При недостаточно высокой температуре происходит неполное сгорание с высоким уровнем выбросов.

В общем, если не имеется дешевого сбросного тепла, отбираемого из другого процесса, применение отдельной системы искусственной сушки делает процесс слишком дорогостоящим и экономически невыгодным. Конструкция топочной камеры играет чрезвычайно важную роль при использовании биомассы, имеющей высокую влажность. Применение большого количества футеровочных и изоляционных материалов в конструкции топочной камеры позволяет повысить качество горения. Эта мера в сочетании с высокой температурой подогрева воздуха топочной камеры делает применение топлива с высокой влажностью приемлемым с экологической точки зрения. Однако повышение качества процесса горения достигается за счет некоторого снижения КПД котла. Это объясняется тем, что большее количество влаги в топочном газе повышает скорость потока, содержащего водяной пар топочного газа, выходящего из котла, что приводит к потере энергии. Однако сжигание древесины с высоким содержанием влаги может иметь положительный эффект в случае применения системы конденсации топочного газа при условии, что тепловая нагрузка является достаточно низкой. Конденсация содержащегося в топочном газе водяного пара повышает общий КПД до уровня, позволяющего обеспечить экономически выгодную эксплуатацию установки.

4.5.2 Изменение размеров частиц топлива

Размер топливных частиц играет важную роль при выборе технологии сжигания топлива. В частности, он может играть определяющую роль при эксплуатации установок на биомассе большой мощности с автоматической подачей топлива. Размер частиц топлива может варьироваться от целых бревен до мелких опилок. Если топливо состоит из очень мелких и очень крупных фракций, измельчитель или рубительная машина могут использоваться для уменьшения размера крупных частиц. Таким образом получают более однородный состав частиц, что позволяет использовать большее число технологий. Однако измельчение топливных частиц является целесообразным только в случае, если выгода от выполнения этой операции превосходит дополнительные инвестиции и затраты на энергию.

4.5.3 Выбор оборудования для сжигания топлива

При выборе технологии сжигания топлива для установки на биомассе следует учитывать ряд аспектов, относящихся как к процессу сжигания топлива, так и к реализации первичных и вторичных мер по снижению выбросов. Как правило, тепловая/электрическая мощность установки ограничивает выбор технологии сжигания топлива по техническим или экономическим причинам.

Прежде всего следует учитывать характеристики топлива, такие как состав, влажность и размер частиц. При использовании древесных видов топлива выбор технологии сжигания может ограничиваться только содержанием азота в древесине в случае, если необходимо обеспечить соблюдение норм выбросов NO_x . Однако содержание влаги может играть чрезвычайно важную роль при использовании в качестве топлива древесной щепы или коры, если не предусматривается их подсушивание перед сжиганием. При использовании других видов топливной биомассы воздействие ряда компонентов топлива, таких как зола, хлор, калий и сера, на процесс горения обуславливает выбор определенных элементов технологии сжигания топлива, например сжигания соломы.

4.5.4 Оптимизация управления процессом горения

Чтобы гарантировать оптимальный процесс горения с минимальными выбросами от неполного сгорания топлива, необходимо обеспечить поддержание высокой температуры горения, достаточно длительного времени пребывания и оптимального смешения топливных газов с воздухом, а также соответствующее регулирование этих параметров при изменении тепловой и/или электрической мощности. Эти параметры частично определяются технологией сжигания топлива и конструкцией топки и частично — условиями процесса горения. Для оптимизации процесса горения разработан ряд систем управления процессом сжигания топлива.

Автоматизированная система управления технологическим процессом, или контроллер технологического процесса, предназначена для управления отдельными параметрами технологического процесса в соответствии с заданным режимом. Основным назначением контроллера технологического процесса в системе установки, работающей на биомассе, является регулирование выработки тепла в соответствии с потреблением тепла. Также контроллер технологического процесса может программироваться для выполнения одновременной оптимизации параметров процесса горения с целью минимизации выбросов и максимизации теплового КПД. При сжигании биомассы типичными параметрами технологического процесса, которые могут использоваться в качестве параметров технологического контроля, являются концентрации CO , C_xH_y и O_2 в топочном газе, температура в топочной камере и температура котла. Переменными параметрами технологического процесса, которые непосредственно регулируются для получения заданных значений указанных параметров технологического контроля,

являются, как правило, количество топлива, подаваемого в топку, и количество подаваемого первичного и вторичного воздуха.

Минимизация выбросов

Качество горения можно изменять посредством регулирования количества подаваемых топлива и первичного и вторичного воздуха по значениям измеренных концентраций CO , C_xH_y и O_2 и температуры горения в топке.

В случае прямого управления технологическим процессом осуществляется непрерывное измерение значений CO и C_xH_y и значения управляющих параметров регулируются таким образом, чтобы минимизировать выбросы. Из-за колебаний параметров процесса концентрации значения CO и C_xH_y часто остаются высокими.

В случае непрямого управления технологическим процессом сначала определяется идеальный коэффициент избытка воздуха (λ) для всех предполагаемых параметров процесса (нагрузки котла, влажности топлива и т.д.), позволяющего получить минимальные уровни выбросов. Затем измеренное значение O_2 используется в качестве параметра технологического контроля. Контроль значения λ обеспечивает стабильность процесса горения, однако поскольку действительные параметры процесса часто отличаются от предполагаемых значений, на практике не всегда удается минимизировать уровень выбросов.

Также можно использовать сочетание систем прямого и непрямого управления технологическим процессом для обеспечения стабильного процесса сжигания топлива с минимизированным уровнем выбросов.

Регулирование выходной тепловой мощности

Помимо минимизации уровня выбросов необходимо также обеспечить регулирование выходной тепловой мощности топки или котла, которое можно осуществлять по измеренным значениям разности температур и массового расхода воды. Однако в большинстве случаев контроль выходной тепловой мощности осуществляют по значению температуры воды котла. После установки котла определяют отношение между количеством подаваемого топлива и количеством подаваемого первичного и вторичного воздуха. Затем посредством регулирования этих параметров поддерживается заданная температура воды котла.

Модификация конструкции существующего котла на биомассе

Модификация конструкции существующих котлов позволяет снизить уровни выбросов, повысить тепловой КПД и эффективность регулирования выходной тепловой мощности. Результаты экспериментальных исследований, проведенных, например, Датским институтом прикладных исследований (Dutch Research Institute TNO), показывают, что относительно простые изменения технологического процесса позволяют снизить уровень выбросов и повысить КПД котлоагрегата.

4.5.5 Ступенчатая подача воздуха при сжигании топлива

Ступенчатая подача воздуха широко применяется при сжигании топлива на установках, работающих на биомассе. Однако на установках малой мощности точность контроля подачи воздуха горения обычно ограничена конструкцией установок, что может вызывать повышение уровней выбросов. Сжигание топлива со ступенчатой подачей воздуха одновременно снижает уровни выбросов от неполного сгорания топлива и выбросов NO_x в результате разделения процессов выхода летучих и горения в газовой фазе. Это повышает эффективность смешения топливного газа с воздухом горения. На первом этапе подается первичный воздух и происходит высвобождение летучей

фракции с образованием топливного газа, содержащего в основном CO , H_2 , C_xH_y , H_2O , CO_2 и N_2 . С точки зрения снижения выбросов NO_x особый интерес представляет также содержание в топливном газе NH_3 , HCN и NO . На втором этапе подается достаточное количество вторичного воздуха для обеспечения эффективного сгорания топлива и снижения уровня выбросов, образующихся при неполном сгорании.

Повышение степени смешения топочного газа и вторичного воздуха уменьшает количество требуемого вторичного воздуха, повышая температуру пламени и снижая общий коэффициент избытка воздуха. В результате повышения температуры снижается уровень выбросов от неполного сгорания, увеличивается скорость элементарных реакций и повышается качество смешения, что сокращает время пребывания, необходимое для смешения топливного газа и вторичного воздуха горения. Однако это не приводит к автоматическому снижению уровня выбросов NO_x . Эффективное снижение выбросов от неполного сгорания и выбросов NO_x может быть обеспечено только посредством оптимизации коэффициента избытка первичного воздуха.

Как указывалось ранее, азот топлива преобразуется в NO ($> 90\%$) и NO_2 ($< 10\%$) в результате протекания ряда элементарных реакций, называемых механизмом образования топливного NO_x . Важными первичными азотсодержащими компонентами являются NH_3 и HCN . Однако в пиролизном газе также могут содержаться значительные количества NO и N_2 . В присутствии достаточного количества O_2 , NH_3 и HCN преобразуются в основном в NO через различные пути реакции. Однако в присутствии большого количества топлива NO реагирует с NH_3 и HCN с образованием N_2 . Этот механизм используется как первичная мера снижения выбросов NO_x . Оптимизация коэффициента избытка первичного воздуха, температуры и времени пребывания позволяет обеспечить максимальное преобразование NH_3 и HCN в N_2 .

С целью изучения возможностей снижения выбросов NO_x посредством ступенчатой подачи воздуха организация «Веренум Рисерч» (Verenum Research) (Цюрих) осуществила строительство экспериментального реактора мощностью 25 кВт с газификацией неподвижного слоя в топке с верхней тягой с последующим сжиганием топлива в газовой фазе. Экспериментальный реактор может эксплуатироваться как топка с нижней подачей топлива, что позволяет получить опорные значения NO_x для использования при сжигании топлива на установках обычного типа. Результаты эксплуатации экспериментального реактора показывают, что при ступенчатой подаче воздуха уровень выбросов NO_x может быть снижен на 50–75% (рис. 4.5). Степень снижения уровня выбросов повышается с увеличением содержания N в топливе при следующих оптимальных условиях:

- время пребывания в восстановительной камере $\sim 0,5$ с ($> 0,3$ с);
- температура в восстановительной камере $\sim 1100\text{--}1200$ °С;
- коэффициент избытка первичного воздуха $\sim 0,7$.

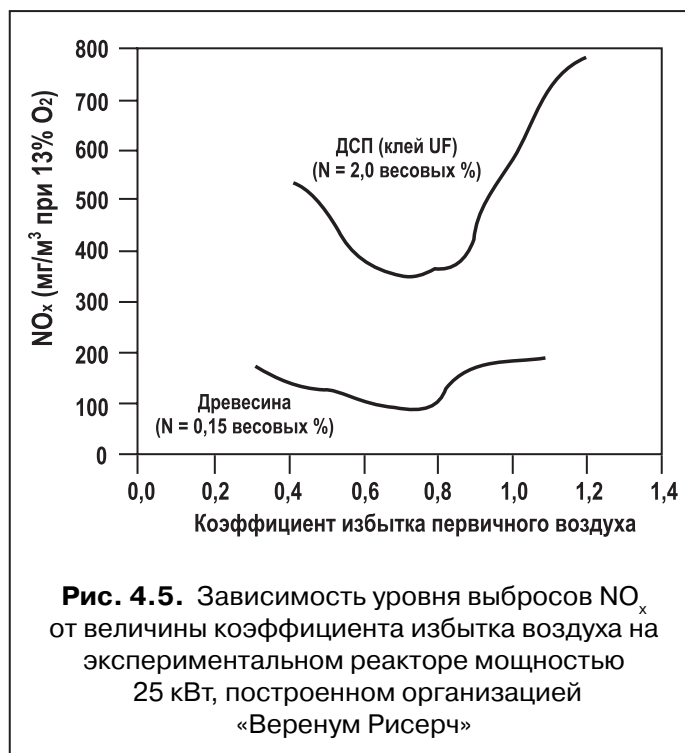


Рис. 4.5. Зависимость уровня выбросов NO_x от величины коэффициента избытка воздуха на экспериментальном реакторе мощностью 25 кВт, построенном организацией «Веренум Рисерч»

4.5.6 Ступенчатая подача топлива и дожиг

Другими возможными методами снижения NO_x на установках, сжигающих биомассу, являются ступенчатое сжигание и дожиг топлива. Первичное топливо сжигается при коэффициенте избытка воздуха, превышающем 1; при этом не происходит значительного снижения NO_x . Затем в топочный газ за зоной первичного горения вводится вторичное топливо без подачи дополнительного воздуха. При этом создается досте­хиометрическая восстановительная среда, в которой количество NO_x , образованного в первичной зоне, может снижаться в результате реакций с NH_3 и HCN , образованных из вторичного топлива (если вторичное топливо содержит азот) таким же образом, как при сжигании топлива со ступенчатой подачей топлива (рис. 4.6). При этом NO вновь преобразуется в NCH в результате реакций с HCCO и радикалами CH_i ($i = 0-3$), образовавшимися из вторичного топлива. Этот процесс называется дожигом. При типичных условиях дожига HCCO является наиболее эффективным радикалом для удаления NO . На последнем этапе в участок за восстановительной зоной вводится дополнительное количество воздуха для обеспечения эффективного сгорания с общим коэффициентом избытка воздуха, превышающим 1.

Потенциальные возможности процесса ступенчатого сжигания топлива исследовались с применением топки с нижней загрузкой топлива на установке «Веренум Рисер», в которую вторичное топливо вводилось на вторую решетку над основным слоем топлива, при этом доля энергии, полученной от сжигания первичного топлива, составила 70%, а от сжигания вторичного топлива — 30%. Степень снижения NO_x составила 52–73% при температуре в зоне снижения приблизительно 700°C . Таким образом, этот процесс обеспечивает степень снижения NO_x , аналогичную степени снижения NO_x при ступенчатой подаче воздуха, однако при значительно более низкой температуре в зоне снижения. Оптимальный общий коэффициент избытка воздуха в зоне снижения составляет приблизительно от 0,7 до 0,9. Как и при ступенчатой подаче воздуха, время пребывания и начальное содержание азота в топливе также оказывают воздействие на степень снижения. Также важны свойства вторичного топлива, в особенности содержание N и летучих компонентов в топливе.

Ступенчатое сжигание топлива требует автоматической подачи первичного и вторичного топлива, и подача вторичного топлива должна легко регулироваться. Это ограничивает использование ступенчатого сжигания топлива крупными установками, работающими на биомассе,

так как требуется применение двух систем загрузки топлива и системы точного управления процессом горения топлива. В качестве вторичного топлива могут использоваться природный газ, топочный мазут, пиролизный газ, порошок биомасса, опилки или аналогичные виды топлива.

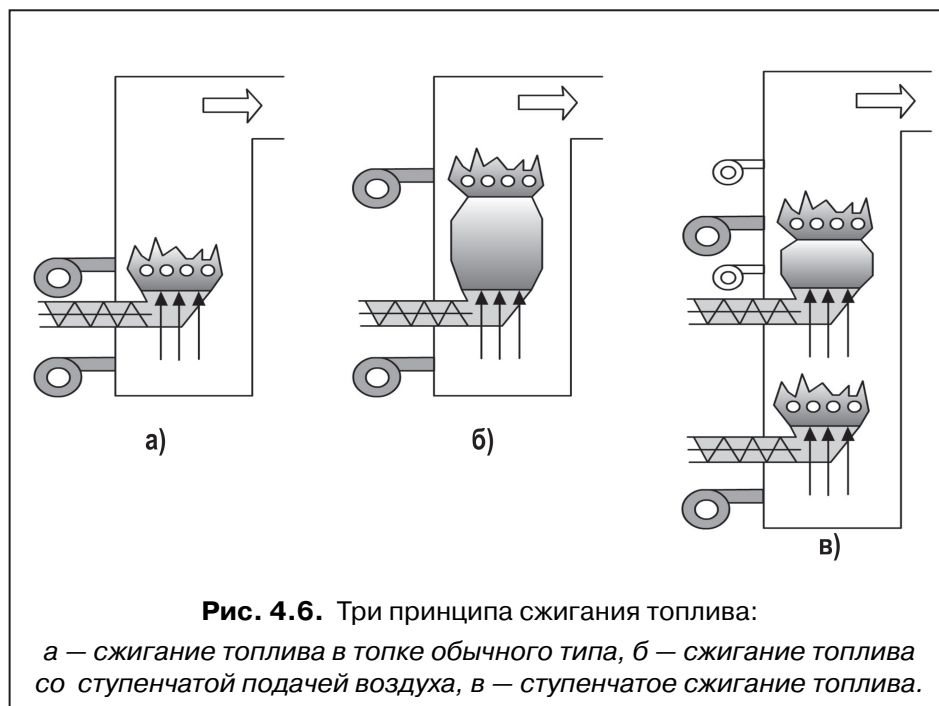


Рис. 4.6. Три принципа сжигания топлива:

а — сжигание топлива в топке обычного типа, б — сжигание топлива со ступенчатой подачей воздуха, в — ступенчатое сжигание топлива.

4.6 Вторичные меры по снижению уровня выбросов

Вторичные меры по снижению уровня выбросов могут применяться с целью удаления компонентов выбросов из топочного газа после его выхода из котла. Особое значение имеет удаление частиц при сжигании свежесрубленной древесины. При сжигании других видов биомассы может потребоваться применение дополнительных вторичных мер.

В настоящем разделе описываются меры по снижению выбросов, применяемые в основном для удаления частиц и NO_x . Другие компоненты, содержание которых также можно снижать с применением вторичных мер, включают SO_x , HCl , тяжелые металлы и ПХДД/Ф. Дается общее описание вторичных мер по снижению выбросов этих компонентов. Для удаления SO_x (в основном SO_2) разработаны влажные, сухие и влажно-сухие одноразовые процессы. Сгорание древесины не является значительным источником выбросов SO_x . Влажные одноразовые процессы, применяемые для снижения выбросов SO_x , уменьшают выбросы HCl . Также комбинированная экстракция HCl , SO_2 и ПХДД/Ф может выполняться с помощью адсорбентов, таких как активированный лигнин. Выбросы тяжелых металлов эффективно снижаются с помощью пылесборных устройств, таких как мешочные фильтры или электростатические фильтры.

4.6.1 Методы контроля содержания частиц

Не каждый метод контроля содержания частиц пригоден для всех применений. Определяющие факторы включают размер частиц, требуемую степень улавливания, интенсивность потока газа, периодичность очистки, характеристики частиц и присутствие смол в дымовых газах. Следующие эмпирические правила могут быть полезны при выборе методов контроля содержания частиц для установок, работающих на биомассе.

1. Липкие частицы (к примеру, смоляные) улавливаются жидкостью, например, в скруббере, или циклоном, мешочным фильтром или электростатическим фильтром, улавливающие поверхности которых обычно полностью покрываются пленкой или текучей жидкостью. Необходимо также предусмотреть метод обработки полученной таким образом загрязненной жидкости.
2. Легко улавливаются частицы, слипающиеся друг с другом, но не прилипающие к твердой поверхности. Частицы с противоположными свойствами улавливаются с помощью специальных поверхностей, таких как волокна с тефлоновым покрытием в фильтрах, легко высвобождающих уловленные частицы во время очистки.
3. При использовании электростатических фильтров первостепенное значение имеют электрические свойства частиц, которые также часто играют важную роль в других устройствах контроля, в которых воздействие электростатических зарядов, обусловленных трением, на частицы может облегчать или затруднять улавливание.
4. Циклонный сепаратор является, возможно, единственным устройством, пригодным для улавливания нелипких частиц диаметром более 5 мкм.
5. Для улавливания частиц диаметром менее 5 мкм обычно применяются электростатические фильтры, мешочные фильтры и скрубберы. Эти устройства способны улавливать частицы, диаметр которых составляет доли микрона.
6. При потоках большого объема использование скрубберов является очень дорогостоящим; в этом случае предпочтительны другие устройства.
7. Во всех случаях необходимо учитывать коррозионную устойчивость и значение точки росы.

В таблице 4.4 приведены характеристики некоторых стандартных методов контроля содержания частиц при сжигании древесной щепы.

4. ВЫБРОСЫ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ СГОРАНИИ БИОМАССЫ

В таблице 4.5 указаны типичные размеры частиц, удаляемых с помощью ряда апробированных методов контроля содержания частиц, и типичные значения степени улавливания.

На рис. 4.7 показаны значения степени улавливания, обеспечиваемые некоторыми передовыми технологиями контроля содержания частиц.

Таблица 4.4. Характеристики отдельных методов контроля содержания частиц.

	Осадительная камера	Циклон	Электро-статический фильтр
Степень улавливания	~10% для частиц < 30 мкм; ~40% для частиц < 90 мкм	85-95%	95-99,99%
Скорость потока газа	1–3 м/с	15-25 м/с	0,5–2 м/с
Падение давления	< 20 Па	60-150 Па	15-30 Па
Диапазон температур	< 1300°C	< 1300°C	< 480°C
Диапазон давлений	< 100 бар	< 100 бар	< 20 бар
Применение	Первая ступень сепарации частиц	Первая или последняя ступень сепарации частиц	Последняя ступень сепарации частиц

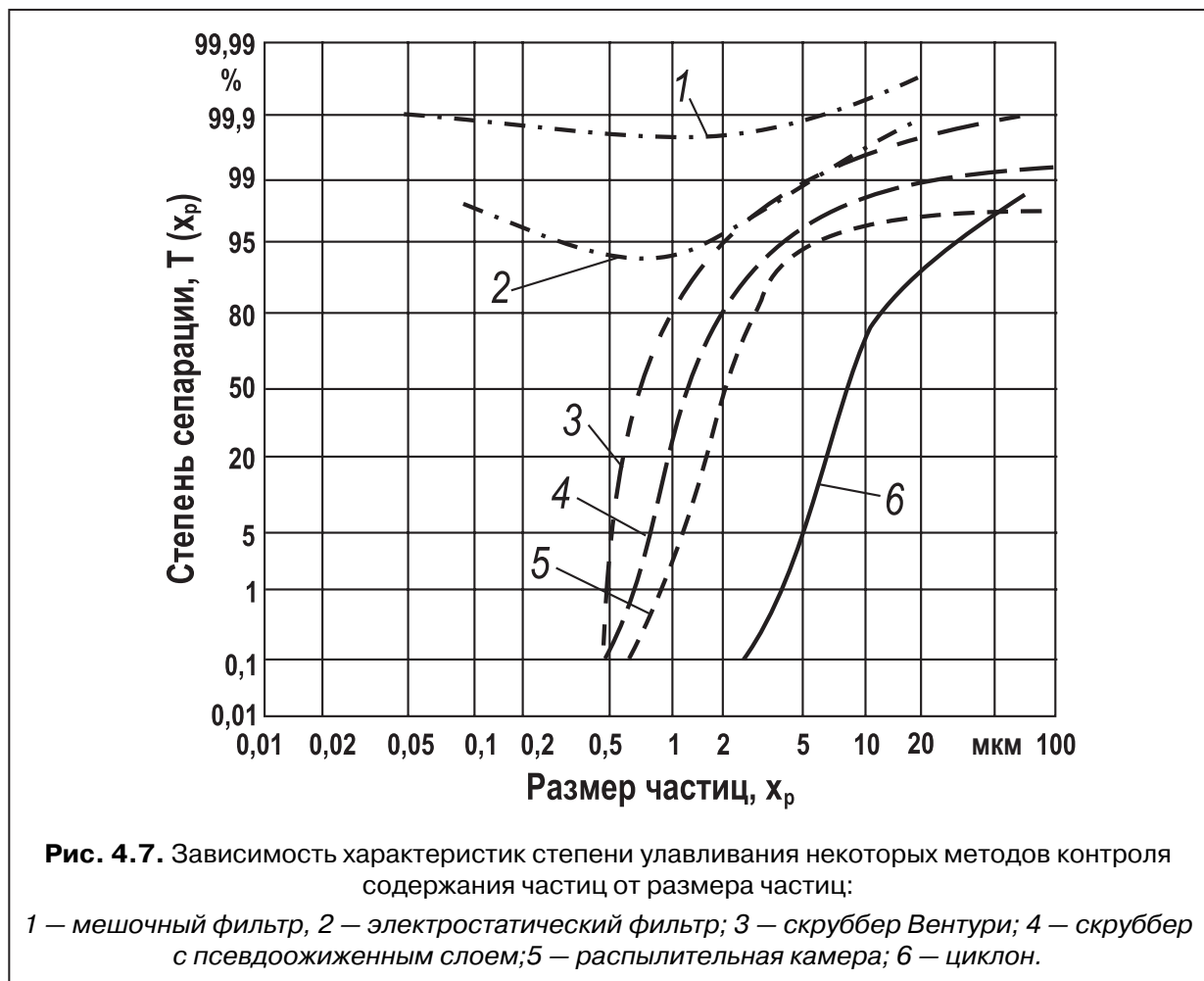
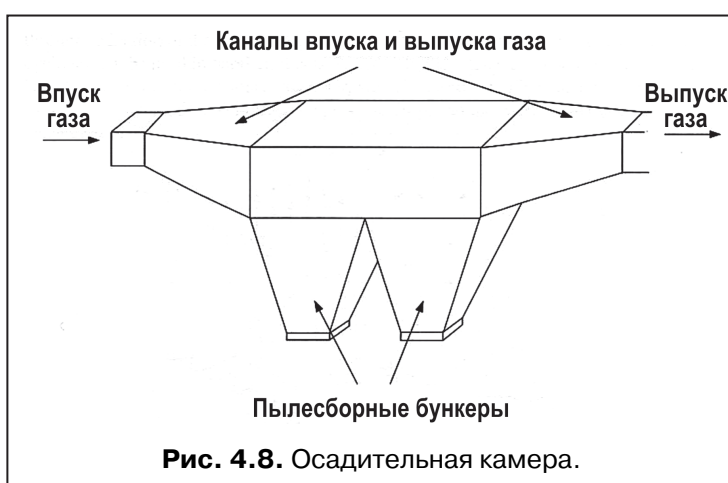


Таблица 4.5. Типичные размеры частиц, удаляемых с помощью некоторых методов контроля содержания частиц.

Метод контроля содержания частиц	Размер частиц (мкм)	Степень улавливания (%)
Осадительные камеры	>50	<50
Циклоны	>5	<80
Мультициклоны	>5	<90
Электростатические фильтры	<1	>99
Мешочные фильтры	<1	>99
Распылительные камеры	>10	<80
Отбойные скрубберы	>3	<80
Циклонные распылительные камеры	>3	<80
Скрубберы Вентури	>0,5	<99

Далее рассматриваются следующие методы контроля содержания частиц:

- осадительные камеры
- циклоны
- мультициклоны
- электростатические фильтры
- мешочные фильтры
- скрубберы
- ротационный сепаратор частиц.



Осадительные камеры

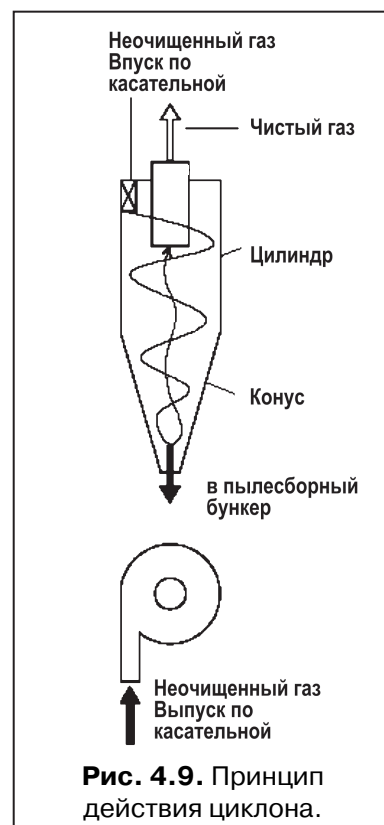
Сепарация частиц в осадительной камере основана на действии силы тяжести (рис. 4.8). Основным недостатком этого метода является низкая степень улавливания. Однако он по-прежнему широко используется, так как способен осуществлять гашение пламени. Типичные характеристики осадительной камеры приведены в таблице 4.4.

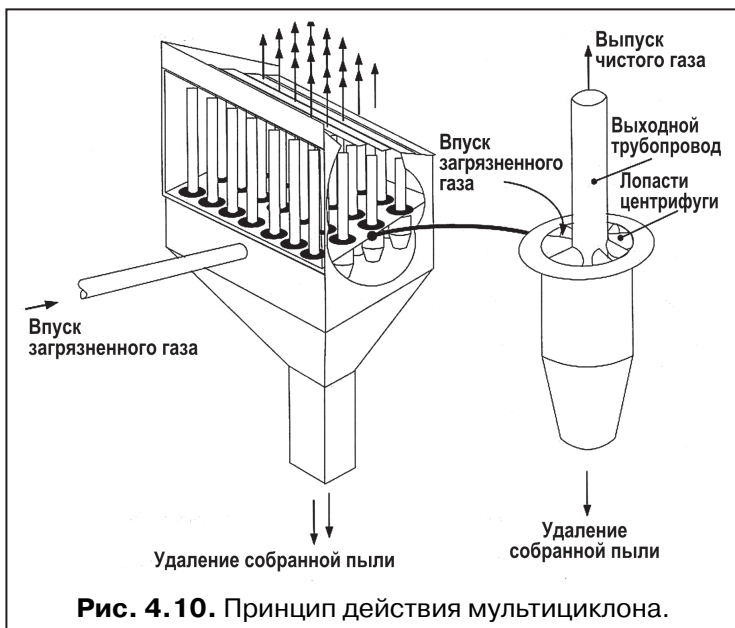
Циклоны

Сепарация частиц в циклоне осуществляется под одновременным воздействием силы тяжести и центробежных сил. Газ и твердые частицы подвергаются воздействию центробежных сил двумя способами:

- газ поступает в циклон по касательной;
- газ поступает в циклон по осевому направлению и приводится во вращение вентилятором.

Под воздействием центробежных сил частицы сталкиваются с внутренней поверхностью стенок циклона и затем падают в пылесборник. На рис. 4.9 показан принцип действия циклона. Циклоны имеют более высокую, чем осадительные камеры, степень улавливания благодаря действию центробежных сил.





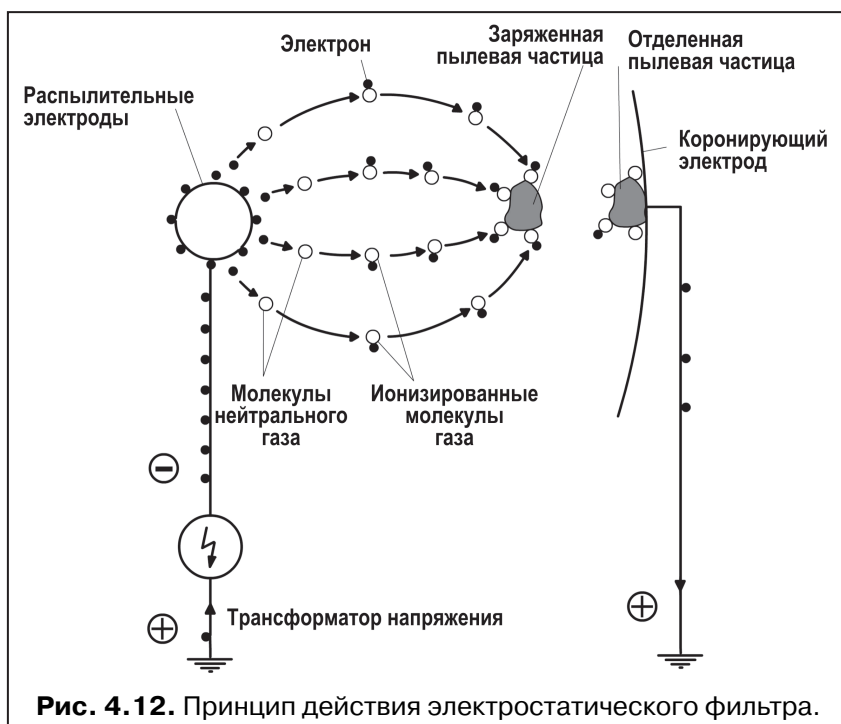
Потери энергии определяются в основном падением давления в циклоне и составляют около 0,2 кВт·ч/1000 м³ дымовых газов. Типичные характеристики циклона приведены в таблице 4.4.

Мультициклоны

Степень сепарации циклона можно повысить, увеличив центробежную силу за счет уменьшения диаметра циклона. С целью повышения эффективности действия несколько циклонов соединяют параллельно; такую конструкцию называют мультициклоном (рис. 4.10). Недостатками мультициклонов является их более сложная конструкция, а следовательно, более высокая стоимость и более высокое падение давления, требующее потребления большего количества энергии.

Электростатические фильтры

Поступающие в электростатический фильтр частицы сначала получают электрический заряд. Затем под воздействием электрического поля они притягиваются к электроду. Периодически электрод очищается под воздействием вибрации, при этом частицы отделяются от электрода и падают в пылесборник. На рис. 4.11 показан действующий электростатический фильтр. Принцип действия электростатического фильтра показан на рис. 4.12. На рис. 4.13 изображены



Часть А: Сжигание биомассы

различные типы электростатических фильтров. Типичные характеристики электростатических фильтров приведены в таблице 4.4.

На практике процесс сепарации может включать один или два этапа. Большинство применяемых электростатических фильтров являются одноступенчатыми. В процессах двухступенчатой сепарации частицы сначала заряжаются в сильном электрическом поле и затем отделяются в относительно слабом электрическом поле. Применение электростатической сепарации на типичных установках, предназначенных для сжигания биомассы, позволяет обеспечить уровень выбросов менее 50 мг/м^3 .

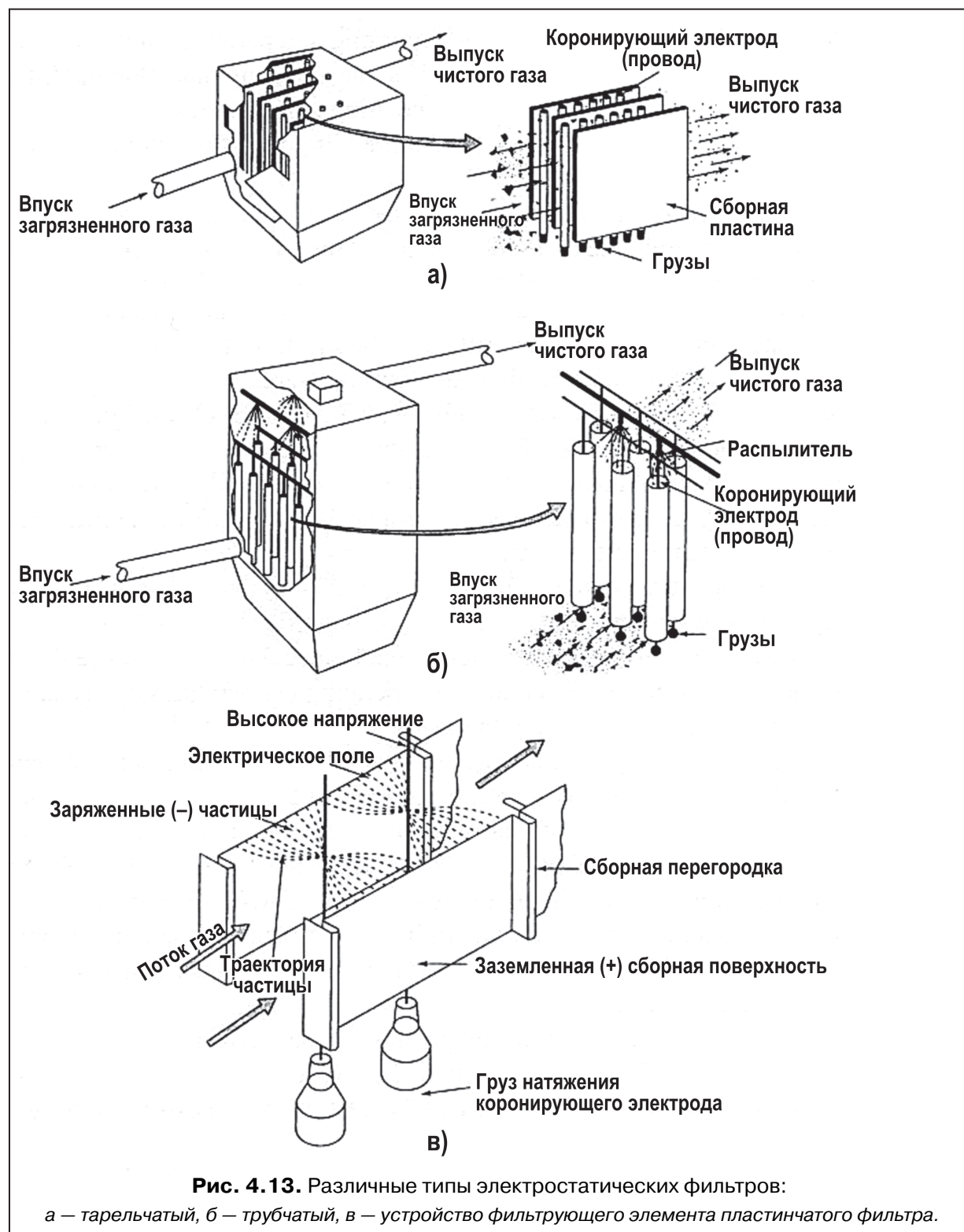


Рис. 4.13. Различные типы электростатических фильтров:

а — тарельчатый, б — трубчатый, в — устройство фильтрующего элемента пластинчатого фильтра.

В работе по разработке электростатических фильтров можно выявить следующие тенденции:

- снижение содержания частиц пыли в профильтрованном воздухе посредством дальнейшей оптимизации геометрии электродов и распределения газа. Расстояние между электродами было увеличено до 800 мм с тем, чтобы можно было повысить скорость и, следовательно, количество пропускаемых заряженных пылевых частиц;
- применение микропроцессорных контроллеров новейшей конструкции в генераторах высокого напряжения и системах очистки, осуществляемой в зависимости от нагрузки фильтра и характеристик улавливаемой пыли, позволяющих значительно снизить потребление энергии;
- применение новых строительных материалов, позволяющих осуществлять эксплуатацию фильтров при температуре $>480^{\circ}\text{C}$;
- применение сосудов, работающих под давлением, и воздухо непроницаемых изоляционных элементов, позволяющих осуществлять эксплуатацию фильтров под давлением >20 бар;
- применение импульсного напряжения электрода для ограничения обратного потока сильнозаряженных частиц.

Мешочные фильтры

Как видно из рис. 4.14, мешочный фильтр имеет относительно простую конструкцию. Он включает фильтр из плотной ткани, сотканной из специальных волокон, подвешенный в закрытом устройстве, через которое проходят дымовые газы. Мешочные фильтры обеспечивают довольно высокую степень очистки даже при высокой скорости потока дымовых газов и высоком содержании частиц.

Первый слой осевших частиц повышает степень фильтрации. Однако с оседанием на ткань большего числа частиц увеличивается падение давления. Поэтому ткань периодически очищается вибрацией или сжатым воздухом. Обычно тканевые фильтры имеют цилиндрическую форму. При высокой нагрузке фильтра ($>100 \text{ м}^3/\text{м}^2/\text{ч}$) дымовые газы поступают внутрь. При невысокой нагрузке фильтра ($<100 \text{ м}^3/\text{м}^2/\text{ч}$) поток дымовых газов направлен наружу.

Мешочные фильтры обычно состоят из нескольких элементов, поочередно очищаемых сжатым воздухом. Так как площадь элементов, очищаемых в определенный момент времени, составляет малую часть общей площади, колебания давления на фильтре незначительны. Так как падение давления является относительно низким и постоянным (1000-3000 Па), фильтр может работать при постоянном потоке дымовых газов.

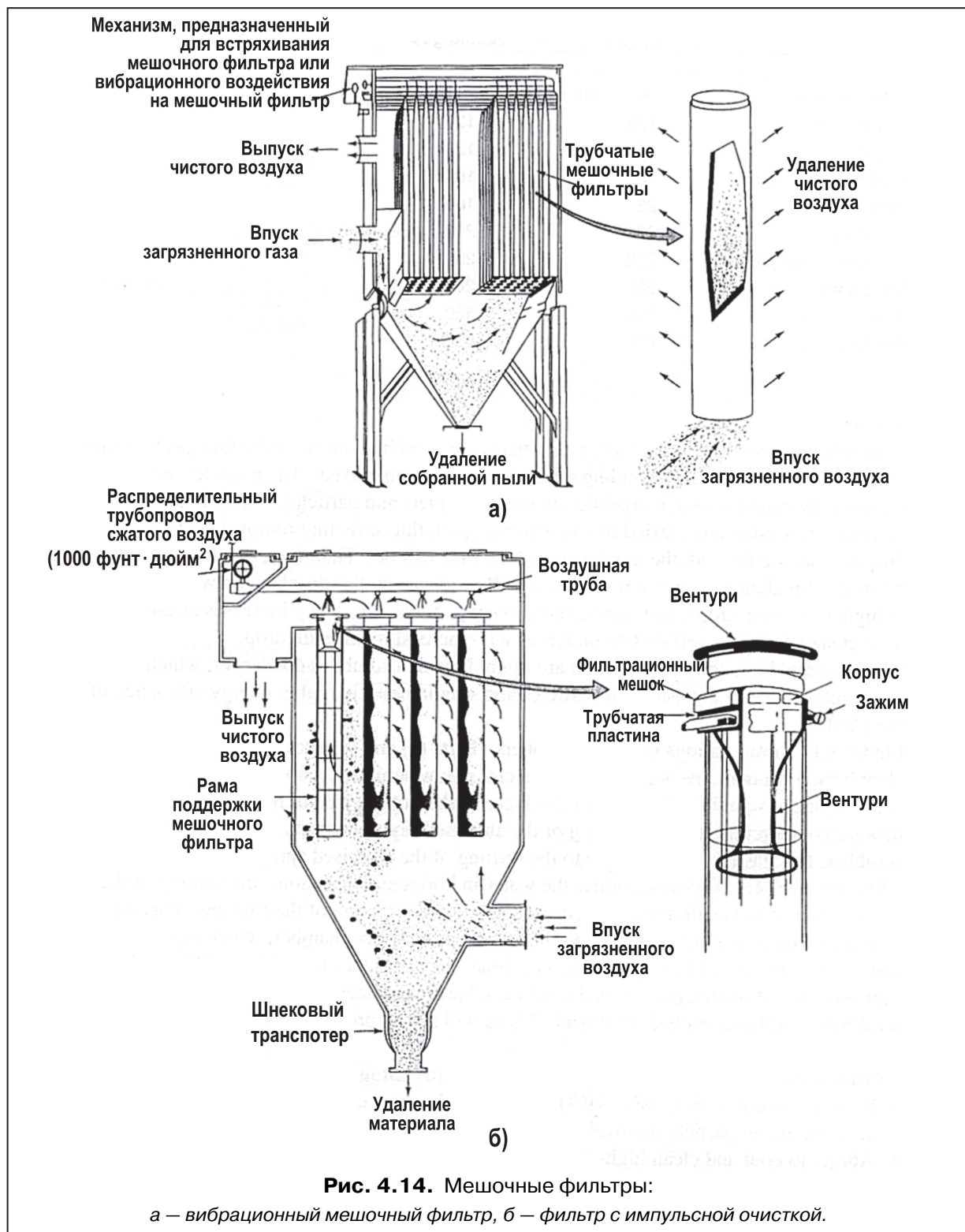
Диапазон рабочих температур ограничивается 250°C ; кроме того, в случае присутствия непрогоревших частиц угля в зольной пыли существует значительная опасность возгорания. С тем, чтобы ограничить количество частиц, оседающих на фильтр, и снизить опасность возгорания от искр, используется циклон. При низких температурах эксплуатации смолы, содержащиеся в дымовых газах, могут конденсироваться, засоряя фильтр.

Материалы, обычно используемые для изготовления фильтров (текстильные и полимерные материалы), выдерживают температуру до 250°C . В последних разработках особое внимание уделяется очистке тканей и применению материалов, которые могут использоваться при более высоких температурах. Примерами таких материалов являются стекловолокно, специальные полимеры, металловолокно, керамоволокно. Применение металловолокна или керамоволокна позволяет использовать фильтры при температуре до 600 или до 800°C . Выбор типа материала определяется в большей степени температурой дымовых газов, чем стойкостью к химическому воздействию.

В последних разработках мешочных фильтров отмечаются следующие тенденции:

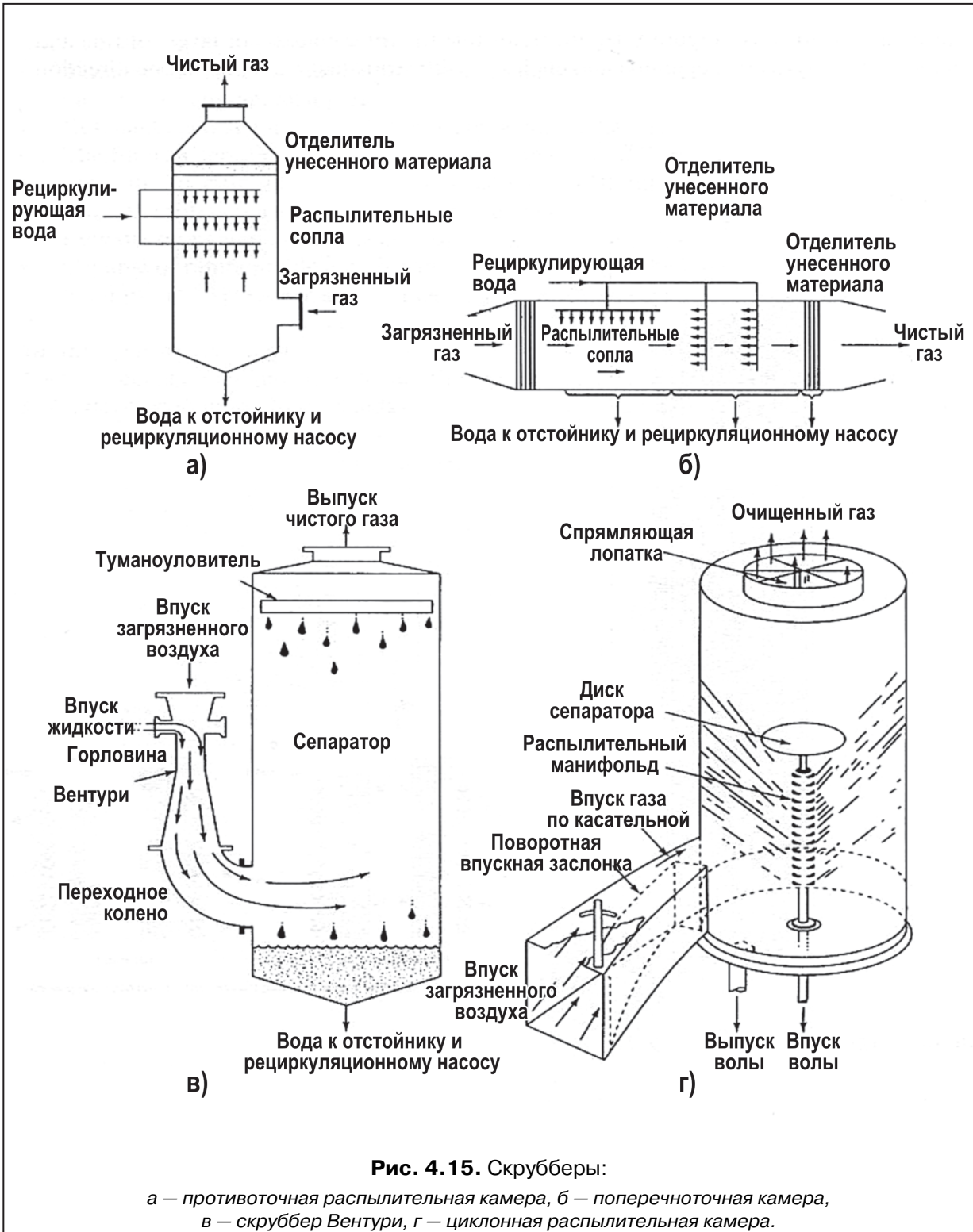
Часть А: Сжигание биомассы

- повышение степени улавливания в результате использования тканевых волокон, лучшего распределения пыли по площади фильтра и применения очистных устройств с микропроцессорным управлением;
- экономия энергии, обеспечиваемая применением микропроцессорного управления, позволяющего оптимизировать и снизить расход применяемого для очистки фильтра сжатого воздуха;
- уменьшение размеров фильтра посредством повышения удельной нагрузки фильтра и оптимизации геометрии различных устройств.



Скрубберы

В скрубберах частицы удаляются из дымовых газов водяными каплями различных размеров в зависимости от типа применяемого скруббера. Частицы удаляются, когда водяные капли сталкиваются с частицами, перехватывая их. При столкновении частицы увлажняются и удаляются с водяными каплями. Чем больше образуется водяных капель, тем эффективнее происходит процесс удаления. Поэтому частицы должны быть достаточно мелкими. Распылители с соплами малого диаметра образуют более мелкие капли, однако также вызывают значительное падение дав-



ления, что приводит к потреблению большего количества энергии. Так как степень улавливания повышается с уменьшением размера частиц, степень улавливания повышается также с увеличением падения давления. Часто для очистки и конденсации дымовых газов применяются скрубберы-конденсаторы, что снижает уровень выбросов частиц и одновременно повышает эффективность использования энергии установкой.

На рис. 4.15 (а, б) изображены различные типы скрубберов — показаны камеры обычного типа, противоточный скруббер и поперечноточный скруббер соответственно. В противоточном скруббере дымовые газы подаются в нижнюю часть устройства и движутся вверх против потока оседающих распыленных капель жидкости. В поперечноточном скруббере поток дымовых газов движется поперек потока оседающих распыленных водяных капель. Хотя две группы распылителей распыляют топливо в горизонтальном направлении, оседающие распыленные частицы движутся вниз в поперечном направлении относительно направления потока дымовых газов. На рис. 4.15 (в) показан скруббер Вентури и на рис. 4.15 (г) изображена циклонная распылительная камера, представляющая собой сочетание распылителя обычного типа и циклона. Имеется несколько других типов скрубберов, таких как тарельчатые, скрубберы с твердой засыпкой, с отбойными перегородками, ударно-каплеотбойные скрубберы и скрубберы с псевдоожиженным слоем.

Ротационный сепаратор частиц

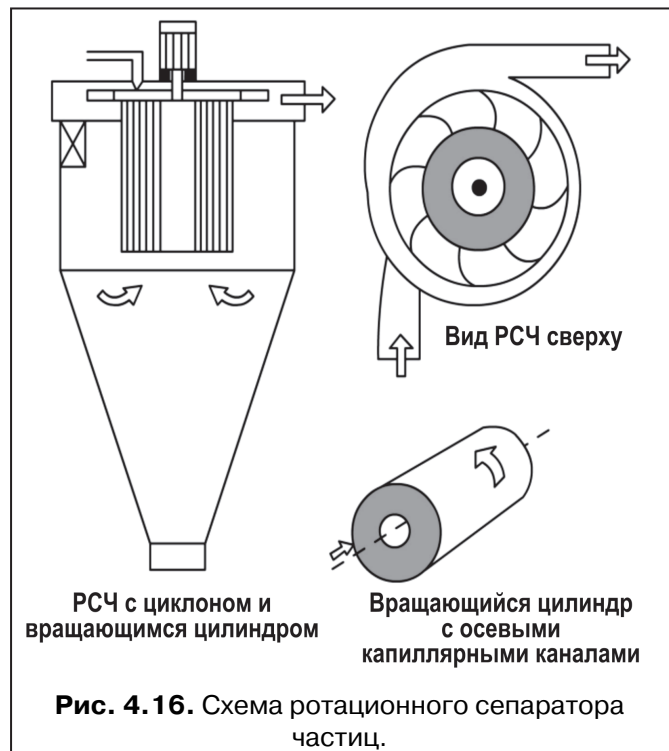
Одной из последних разработок является ротационный сепаратор частиц (рис. 4.16).

Этот аппарат может применяться с использованием мультициклона обычного типа или вместо электростатического фильтра. В настоящее время на нескольких установках, работающих на биомассе, проводятся полевые испытания аппарата. Эффективность сепарации зависит от размера частиц. Имеются данные о том, что для частиц диаметром более 1 мкм коэффициент сепарации достигает 99,9%. Концентрация летучей золы снижается до 50 мг/м³ при 11% O₂.

При очистке в ротационном сепараторе частиц сначала потоку дымовых газов сообщается вращательное движение при помощи встроенного вентилятора. При этом тяжелые частицы вытесняются наружу под воздействием силы тяжести и падают в золоборник, а мелкие частицы пропускаются через вращающийся фильтрующий элемент. Жидкие и твердые частицы ударяются о стенки каналов и периодически удаляются потоками воздуха или воды, пропускаемыми через каналы с высокой скоростью

Технологическая оценка

В таблице 4.6 представлена технологическая оценка различных апробированных методов контроля содержания частиц.



4. ВЫБРОСЫ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ СГОРАНИИ БИОМАССЫ

Таблица 4.6. Технологическая оценка различных апробированных методов контроля содержания частиц

Преимущества	Недостатки
<p>Осадительные камеры</p> <ul style="list-style-type: none"> • Низкая потеря давления • Простота конструкции и технического обслуживания • Высокая производительность • Низкие затраты • Способность гасить пламя 	<ul style="list-style-type: none"> • Занимают значительную площадь • Низкая степень улавливания
<p>Циклоны</p> <ul style="list-style-type: none"> • Простота конструкции и технического обслуживания • Занимают малую площадь • Сухое непрерывное удаление улавливаемой пыли • Низкая/средняя потеря давления • Улавливают большие частицы • Эффективное улавливание при высоких пылевых нагрузках • Температурнонезависимая конструкция • Низкие затраты • Способность гасить пламя 	<ul style="list-style-type: none"> • Большая габаритная высота • Низкая степень улавливания мелких частиц • Чувствительны к колебаниям пылевой нагрузки и скорости потока • Возможность конденсации смол в циклоне
<p>Электростатические фильтры</p> <ul style="list-style-type: none"> • Степень улавливания достигает 99% • Способны улавливать очень мелкие частицы • Возможность улавливания влажных и сухих частиц • Низкие падение давления и потребляемая мощность по сравнению с другими высокоэффективными улавливателями • Номинальное техническое обслуживание, если отсутствуют коррозионные и адгезивные материалы • Малое число движущихся деталей • Возможность эксплуатации при высоких температурах (до 480°C) • Могут применяться при высоких скоростях потока дымовых газов 	<ul style="list-style-type: none"> • Относительно низкие первоначальные затраты • Чувствительны к колебаниям пылевой нагрузки и скорости потока • Неэкономичность улавливания некоторых материалов из-за их характеристик удельного сопротивления • Требуются меры предосторожности для защиты персонала от высокого напряжения • Возможно постепенное незаметное ухудшение характеристик улавливания • Большой объем
<p>Мешочные фильтры</p> <ul style="list-style-type: none"> • Степень улавливания достигает 99% • Возможно сухое улавливание • Заметно снижение производительности • Возможно улавливание мелких частиц 	<ul style="list-style-type: none"> • Чувствительны к скорости фильтрации • Необходимость охлаждения высокотемпературных газов • Чувствительны к воздействию относительной влажности (конденсации) • Подверженность ткани химической коррозии • Большой объем • Температура эксплуатации ограничена приблизительно 250°C • При низкой температуре эксплуатации смолы могут конденсироваться и засорять фильтр • Ограниченный срок службы ткани (2-3 года)

<p>Скрубберы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Одновременные (SO_2, NO_2, HCl) абсорбция и удаление частиц • Способность осуществлять очистку и охлаждение высокотемпературных газов с высокой влажностью • Возможность улавливания и нейтрализации агрессивных газов и тумана • Снижение риска взрыва пыли • Возможность регулирования степени улавливания 	<ul style="list-style-type: none"> • Опасность возникновения коррозии, эрозии • Дополнительные затраты на очистку и регенерацию сточных вод • Низкая степень улавливания частиц субмикронных размеров • Загрязнение вытекающего потока жидкостью с уловленным материалом • Замерзание при холодной погоде • Снижение выталкивающей силы и увеличение шлейфа • Водяной пар вызывает увеличение шлейфа при некоторых атмосферных условиях
--	--

4.6.2 Методы котроля NO_x

Оксиды азота (NO_x) и оксиды серы (SO_x), имеющие аналогичные характеристики, часто объединяются при выработке мер борьбы с загрязнением окружающей среды.

- NO_x и SO_x вступают в атмосфере в реакцию с водой и кислородом, образуя соответственно азотную и серную кислоту. Эти два вещества являются основными компонентами кислотных дождей. Так как при выпадении кислотных дождей происходит удаление из атмосферы NO_x и SO_x , предполагается, что их концентрация в земной атмосфере не увеличивается.
- NO_x и SO_x претерпевают в атмосфере изменения, способствующие или приводящие к образованию PM_{10} (частиц диаметром 10 мкм или менее) в городских районах.
- В высоких концентрациях NO_x и SO_x являются сильными раздражителями органов дыхания.
- NO_x и SO_x выделяются в атмосферу в больших количествах при сжигании ископаемого топлива. Электростанции, использующие уголь в качестве топлива, являются крупнейшими источниками этих загрязнений. Выбросы NO_x и SO_x , образующиеся при сгорании биомассы, значительно ниже.

Применительно к сжиганию биомассы можно выделить следующие основные различия между процессами образования NO_x и SO_x .

- Образование NO_x в топочной камере можно в значительной степени снизить посредством оптимизации процесса сжигания за счет применения первичных мер по снижению выбросов NO_x , таких как ступенчатая подача воздуха при сжигании топлива и ступенчатое сжигание топлива. Такая оптимизация практически не снижает уровень выбросов SO_x . Однако на некоторых установках, предназначенных для сжигания биомассы, таких как реакторы с псевдоожиженным слоем, возможно введение добавок извести или известняка, позволяющих преобразовать SO_x в соль CaSO_4 , которая затем может быть удалена из дымовых газов в виде твердых частиц.
- На последнем этапе процесса удаления оксидов серы посредством мер по контролю выбросов загрязняющих веществ или методов очистки топлива оксиды серы преобразуются в соль CaSO_4 , которая является безвредным малорастворимым твердым веществом, которое обычно захороняется на мусорных свалках. Так как не имеется такой же дешевой, безвредной и нерастворимой соли азотной кислоты, захоронение на мусорных свалках не является приемлемым методом удаления NO_x , улавливаемых устройствами контроля выбросов загрязняющих веществ. На последнем этапе процесса удаления оксиды NO_x должны быть преобразованы в молекулярный азот.

- SO_2 можно относительно легко удалить из дымовых газов путем растворения SO_2 в воде и последующего проведения реакции со щелочью. Водный SO_2 легко образует серную кислоту, которая затем вступает в реакцию со щелочью и окисляется, образуя сульфат. Улавливание оксидов азота с применением этого метода является значительно более трудной задачей, так как NO , основной оксид азота, содержащийся в дымовых газах, труднорастворим в воде. В отличие от SO_2 , который легко реагирует с водой, образуя кислоты, NO образует кислоту в результате двухступенчатого процесса, в котором он сначала вступает в реакцию с кислородом, образуя NO_2 , и затем реагирует с водой, образуя HNO_3 . Эта реакция протекает относительно медленно. Она достаточно быстро протекает в атмосфере, образуя кислотные осадки за несколько часов или дней, в течение которых загрязненный воздух перемещается до выпадения осадков. Однако эта реакция имеет слишком низкую скорость для того, чтобы обеспечить удаление значительных количеств NO за несколько секунд, в течение которых дымовые газы находятся в мокром скруббере со щелочью, применяемом для удаления SO_2 . Такие скрубберы удаляют некоторое количество NO_2 , содержащегося в дымовых газах, однако обычно NO_2 составляет только незначительную долю общего содержания оксидов азота (<10%) в дымовых газах.

Контроль выбросов NO_x может осуществляться с применением как первичных мер по снижению уровня выбросов, описанных в разделе 4.5 (часть А), так и/или вторичных мер по снижению уровня выбросов. Вторичные меры по снижению уровня выбросов включают химическую обработку дымовых газов на этапе процесса за камерой сгорания для восстановления NO_x до N_2 .

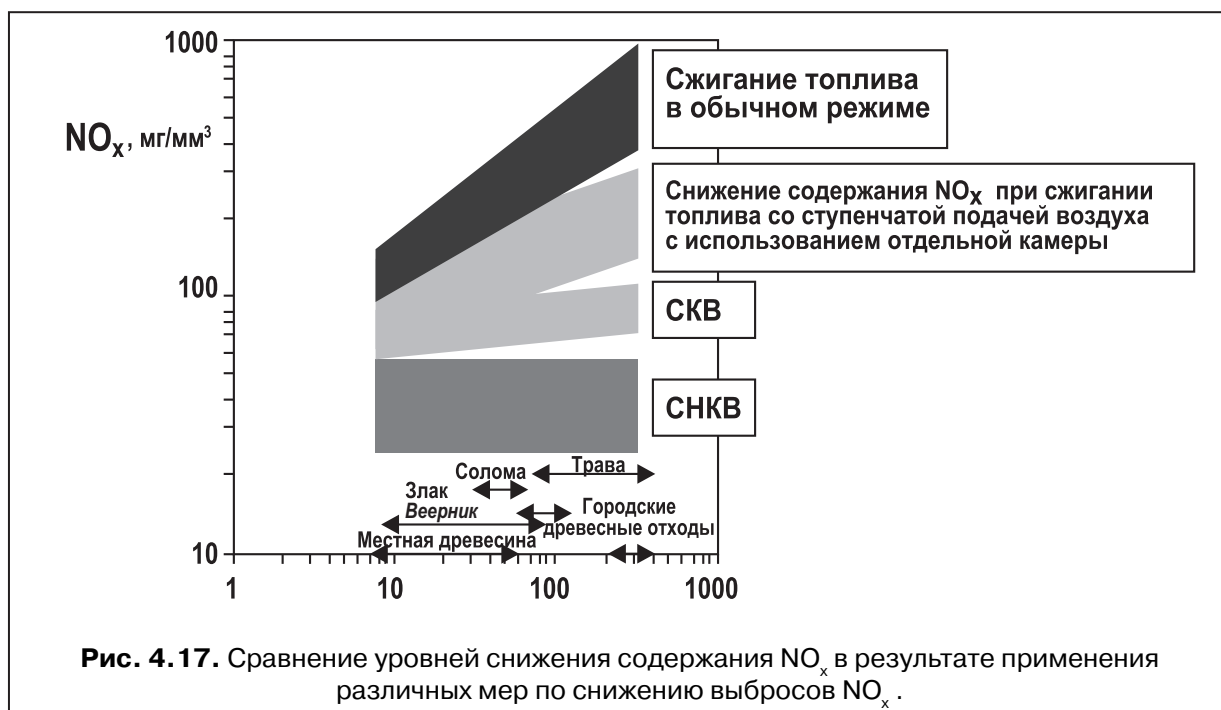
Вторичные меры по снижению уровня выбросов NO_x на установках, работающих на биомассе, включают в основном селективное каталитическое восстановление (СКВ) и селективное некаталитическое восстановление (СНКВ). В обоих процессах NO_x восстанавливается до N_2 с использованием восстановительного агента, как правило, аммиака или мочевины соответственно с применением или без применения катализатора.

Селективное каталитическое восстановление (СКВ)

При СКВ для восстановления NO_x до N_2 обычно используются реакции с аммиаком или мочевиной с применением катализатора (платины, титана или оксида ванадия). Наиболее эффективно процесс СКВ протекает при температуре от 220 до 270°C с использованием аммиака и от 400 до 450°C с использованием мочевины с введением восстановительного агента в парообразном состоянии. Сообщалось о снижении уровня NO_x приблизительно на 80% при использовании СКВ при сжигании ископаемого топлива — эта технология наиболее широко используется в качестве вторичного метода по снижению содержания NO_x при сжигании ископаемых видов топлива. Отмечалось снижение на 95% содержания NO_x при температуре 250°C без значительной утечки аммиака. Обычно используется катализатор на платиновой основе на алюмооксидном носителе. Выбор катализатора необходимо производить с учетом свойств топлива и содержания в нем загрязнителей. В зависимости от нагрузки частиц СКВ выполняется перед удалением или после удаления частиц. В процессе СКВ могут возникать проблемы, связанные с продлением жизни катализатора, т.е. возможностью его деактивации.

Селективное некаталитическое восстановление (СНКВ)

Так как использование катализаторов предъявляет повышенные требования к процессу восстановления, были разработаны процессы СНКВ, не требующие использования катализатора для активации реакции. Вместо применения катализаторов используется более высокая температура реакции. В процессе СНКВ в дымовые газы вводятся аммиак или мочевина при температуре от 850 до 950°C. В установках, работающих на древесном топливе, оптимальной является температура от 840 до 920°C. Высокая температура



процесса обеспечивает активацию реакции без использования катализаторов. Аммиак вводится в соотношении от 1:1 до 2:1 мольного объема аммиака к мольному объему восстановленного NO_x . СНКВ обеспечивает восстановление от 60 до 90% NO_x . Для создания оптимальных условий восстановления NO_x необходимо обеспечить точный контроль температуры процесса СНКВ. При повышенной температуре аммиак окисляется с образованием NO , а при пониженной температуре не вступает в реакцию и выбрасывается с NO_x . Таким образом, имеется оптимальный диапазон значений температуры процесса СНКВ. Аммиак вводится в дымовые газы в количестве, пропорциональном содержанию NO_x в дымовых газах. Одним из наиболее важных факторов является эффективное смешение, обеспечивающее создание оптимальных условий восстановления NO_x . В большинстве процессов СНКВ содержание аммиака в выбросах дымовых газов из дымовой трубы составляет около 1–2 частей на миллион.

На рис. 4.17 показаны уровни снижения содержания NO_x , обеспечиваемые процессами СКВ и СНКВ, в зависимости от содержания азота в топливе по сравнению с уровнем снижения содержания NO_x при сжигании топлива со ступенчатой подачей воздуха с использованием отдельной камеры снижения содержания NO_x и процессом сжигания топлива в обычном режиме.

4.7 Предельно допустимый уровень выбросов

Предельно допустимые уровни выбросов, определяемые для установок, осуществляющих сжигание биомассы, колеблются в значительных пределах в различных странах и выражаются в различных единицах, что затрудняет их сравнение. В опубликованном недавно обзоре приводятся данные о предельно допустимых уровнях выбросов установок ТЭЦ, работающих на биомассе, в Австрии, Финляндии, Бельгии, Дании, и Швеции (табл. 4.7). Вещества, для которых установлены предельно допустимые уровни выбросов, включают пыль, CO , NO_x , SO_x , общий органический углерод (ООУ), полихлорированные дибензо-п-диоксины и дибензофураны (ПХДД/Ф). Предельно допустимые уровни для этих веществ установлены не во всех указанных странах. Финские предельно допустимые уровни выбросов, выраженные в мг/МДж , пересчитаны в мг/нм^3 .

Максимальные допустимые уровни выбросов играют важную роль при выборе технологии и определении конфигурации системы.

4. ВЫБРОСЫ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ СГОРАНИИ БИОМАССЫ

Таблица 4.7. Обзор предельно допустимых уровней выбросов при сжигании биомассы установками ТЭЦ

Страна		Австрия	Финляндия (существующие)	Финляндия (новые)	Бельгия	Дания	Дания	Швеция
Топливо		W	W, S, P	BM/торф	BM	W, WW / S	BM _{ex.} /BM	BM
Параметр	Генерируемая топливом энергия (МВт)	мг/нм ³ 13%O ₂	мг/нм ³ 13%O ₂	мг/нм ³ 6%O ₂	мг/нм ³ 11%O ₂	мг/нм ³ 10%O ₂	мг/нм ³ 6%O ₂	мг/нм ³ 6%O ₂
Пыль	<0,12	150	—	—	150	—	—	350
	0,12–1	150	—	—	150	300 ⁴⁾	—	100
	1–2	150	265	—	150	40	—	100
	2–5	50	265	—	150	40	—	100
	5–10	50	397 ²⁾	—	30	40	—	100
	10–30	50	159 ²⁾	—	30	40	—	35
	30–50	50	79 ²⁾	—	30	40	—	35
	50–100	50	50 ⁶⁾	50	10	—	100/50	35
	100–300	50	50 ⁶⁾	30	10	—	100/30	30
	300–500	50	30 ⁶⁾	30	10	—	100/30	30
	>500	50	30 ⁶⁾	30	10	—	50/30	30
CO	0,1–0,12	250	—	—	250	—	—	—
	0,12–1	250	—	—	250	500 ⁴⁾	—	—
	1–5	250	—	—	250	500/625	—	250/500 ⁷⁾
	5–50	100	—	—	200	500/625	—	250/500 ⁷⁾
	>50	100	—	—	100	—	—	250/500 ⁷⁾
NO _x	<0,1	—	—	—	r.c.o.	400/—	—	—
	0,1–5	250	—	—	r.c.o.	400/—	—	200–300
	5–10	250	—	—	r.c.o.	300	—	200–300
	>10	200	—	—	r.c.o.	300	—	200
	>100	200	199/238 ³⁾	—	r.c.o.	300	—	200
	<30	r.c.o.	—	—	400	r.c.o.	—	200
	30–50	200	—	—	200	300	—	200
	50–100	200	373 ⁶⁾	400	200	300	600/400	150–200
	100–300	200	373 ⁶⁾	300	200	300	600/300	150–200
	300–500	200	124 ⁶⁾	150	130	300	600/200	150–200
>500	200	124 ⁶⁾	150	130	300	500 ⁵⁾ /200	150–200	
SO _x	<50	—	—	—	300	—	—	—
	50–100	—	—	200/400	50	—	200	200
	>100	—	—	200/200	50	—	200	200
ООУ	>0,1	50	—	—	—	—	—	—
ПХДД/Ф ¹⁾	>5	—	—	—	0,1	—	—	—

Примечания: ПХДД/Ф — диоксины и фураны; r.c.o. — диапазон при иных условиях; W — древесная биомасса; S — солома; P — торф; BM — биомасса; WW — древесные отходы; BM_{ex.} — существующие установки; BM_{new} — новые установки; ТЭО — эквивалент токсичности; ¹⁾ — выраженный в нг ТЭО/нм³; ²⁾ — для установок, введенных до 12 февраля 1987 г., расчет следует производить, используя значение предельно допустимого уровня выбросов [мг/МДж] = 85 – 4 × (FEI – 5) / 3; ³⁾ — большее значение относится к торфу, сжигаемому с использованием горелок, меньшее значение относится к торфу (другие методы) и древесине или соломе; ⁴⁾ — относится к биомассе; ⁵⁾ — 200 мг/нм³ с 1 января 2016 г.; ⁶⁾ — 6% O₂; ⁷⁾ — среднесуточное/часовое значение.

5 ОПИСАНИЕ ПРИМЕРОВ УСТАНОВОК И ТЕХНОЛОГИЙ

5.1 Введение

В настоящей главе приводится описание примеров следующих установок и технологий:

- 1) Установка совместного производства тепловой и электрической энергии с ОЦР (Адмонт, Австрия).
- 2) Установка комбинированного производства тепловой и электрической энергии и холода («Фишер/ FACC» (Fischer/FACC) Райд им Инкрайс, Австрия).
- 3) Установка местного коммунального теплоснабжения, работающая на соломе (Сондре Ниссум, Дания).
- 4) Установка комбинированного производства тепловой и электрической энергии, работающая на древесине при заводе по производству бревенчатых домов (Карстула, Центральная Финляндия).
- 5) Переоборудование установки централизованного теплоснабжения в установку, работающую на биомассе (Эскйо, Южная Швеция).

Примеры установок и технологий отобраны из большого числа проектов в сфере биоэнергии, указываемых в базах данных, на вебсайтах, в информационных бюллетенях, отчетах, брошюрах компаний и других материалах. В каждом примере описывается инновационный элемент, который может представлять собой конфигурацию системы (Адмонт и Райд), организационный подход (Сондре Ниссум), тип колосниковой решетки (Карстула), технологию выработки электроэнергии (Эскйо) или проект по финансированию (Райд и Йеления Гора).

5.2 ТЭЦ, работающая на биомассе с ОЦР (Адмонт)

5.2.1 Общие данные

В 1999 г. установка комбинированного производства тепловой и электрической энергии (ТЭЦ) на биомассе с органическим циклом Ренкина (ОЦР) была введена в эксплуатацию на деревообрабатывающем заводе «STIA» в Адмонте (Австрия). Установка предназначена для электроснабжения деревообрабатывающего завода и местного монастыря бенедиктинцев.

Все потребности в технологическом и отопительном тепле завода «STIA» (рис. 5.1) удовлетворялись за счет выработки тепла одним котлом на биомассе и двумя котлами на мазуте. Три мощные топки, работающие на мазуте, осуществляли теплоснабжение бенедиктинского монастыря. Когда эти старые установки перестали соответствовать требованиям технических стандартов, «STIA» было принято решение заменить их на полностью новую систему, работающую на биомассе.

Этот проект, являвшийся первым демонстрационным проектом, реализуемым в рамках ЕС-15, предусматривал введение в эксплуатацию первой установки комбинированного производства тепловой и электрической энергии (ТЭЦ) на биомассе с ор-



Рис. 5.1. Деревообрабатывающий завод «STIA».

ганическим циклом Ренкина (ОЦР). Ранее технологии ОЦР, которые использовались в основном на геотермальных установках, не применялись на установках, работающих на биомассе.

5.2.2 Описание

Установка состоит из двух котлоагрегатов, один из которых включает тепловой котел (с номинальной мощностью 3,2 МВт_т), а другой — водогрейный котел (с номинальной мощностью 4,0 МВт_т). В качестве топлива используются опилки и древесные отходы, не подвергавшиеся химической обработке. За каждой топкой установлен электроосаждитель, соединенный с устройством конденсации водяных паров, содержащихся в дымовых газах обычного типа. После введения в эксплуатацию новой установки ТЭЦ на биомассе пять старых котлов на мазуте были остановлены; два котла используются в качестве резервных.

Процесс ОЦР (номинальная электрическая мощность — 400 кВт, номинальная тепловая мощность — 2,25 МВт) соединен с топкой на биомассе через цикл термомасла и котел с термомаслом (номинальная мощность — 3,2 МВт; 0,95 МВт мощности термомасла подаются непосредственно на прессы горячего прессования).

На рис. 5.2 показана схема ОЦР. ОЦР представляет собой полностью замкнутый процесс, в котором в качестве органического рабочего тела используется безвредный для окружающей среды силикон. Подаваемое в испаритель под давлением органическое рабочее тело испаряется и затем расширяется в двухступенчатой осевой турбине, соединенной непосредственно с асинхронным генератором. Затем расширившееся силиконовое масло пропускается через регенератор (в котором происходит внутрицикловая рекуперация тепла) и подается в конденсатор. Конденсация рабочего тела происходит при температуре от 80 до 90°С. Затем жидкое рабочее тело, проходя через питательные насосы, снова достигает необходимого давления.

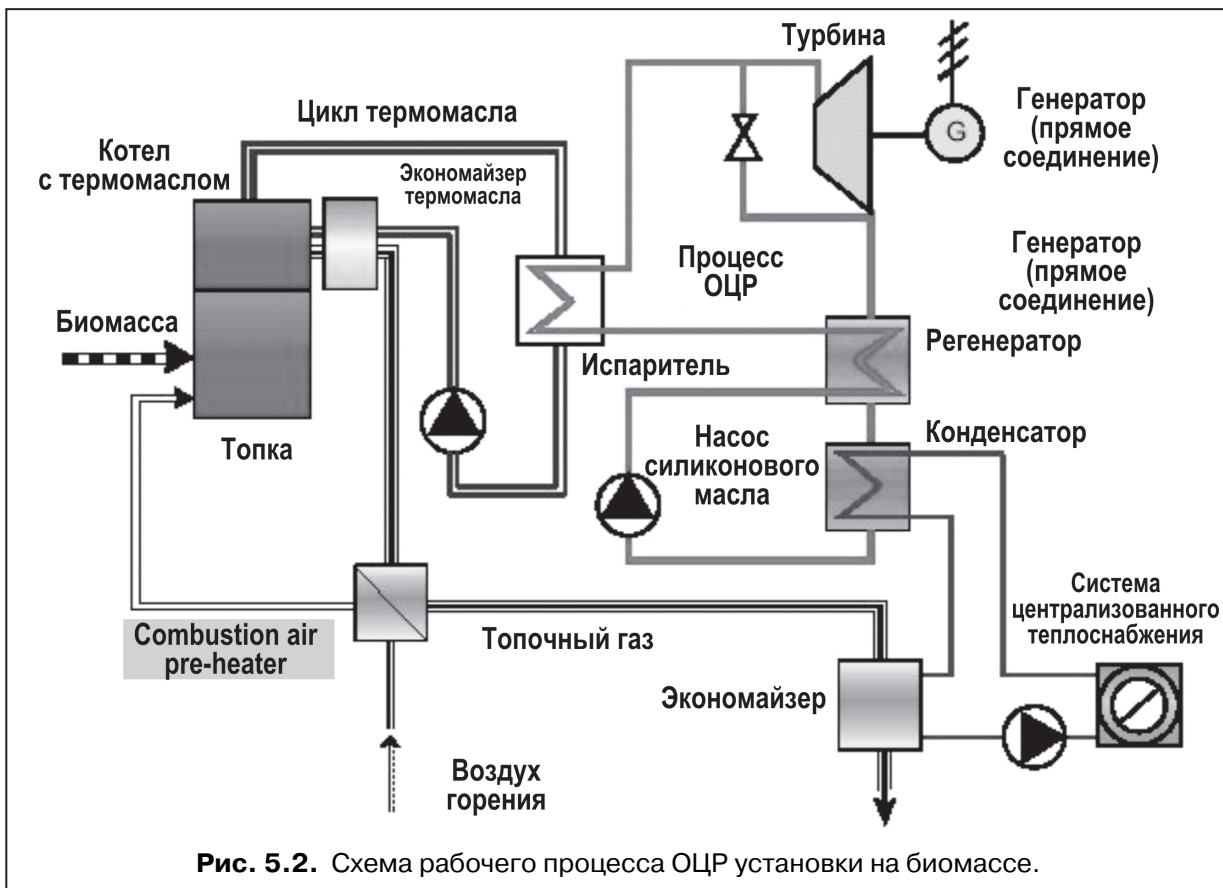
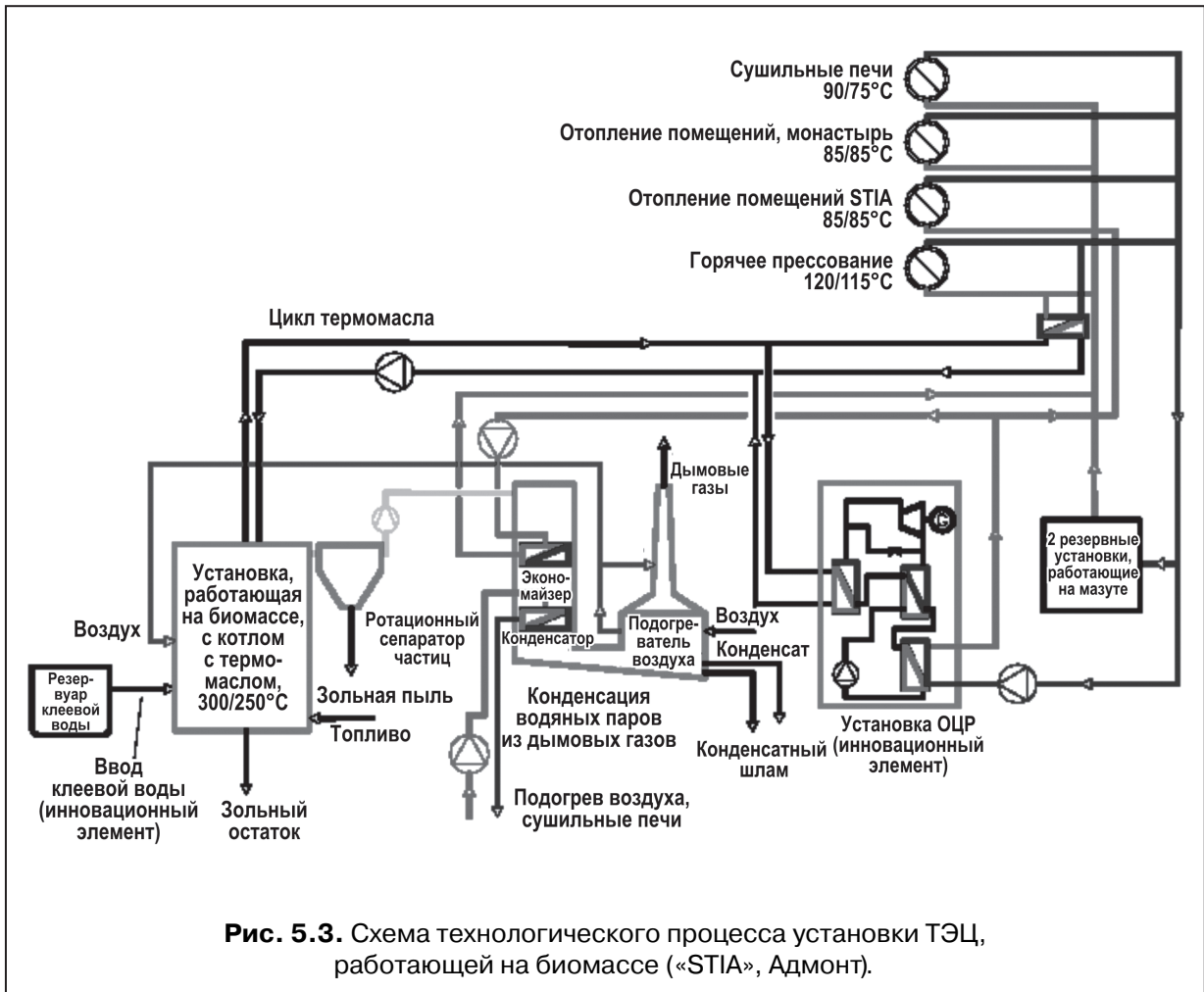


Рис. 5.2. Схема рабочего процесса ОЦР установки на биомассе.



Котел с термомаслом обеспечивает выработку тепла в соответствии с базовой тепловой нагрузкой установки. В случае, если потребности в теплоте превышают мощность котла, запускается водогрейный котел обычного типа. Новая установка на биомассе осуществляет теплоснабжение по сети теплоснабжения длиной 470 м бенедиктинского монастыря и потребителей технологического тепла на заводе «STIA». Короткая длина сети (около 470 м) обеспечивает низкие потери тепла и очень высокий показатель установленной тепловой мощности на метр сети теплоснабжения.

Одним из инновационных аспектов установки ТЭЦ, работающей на биомассе, является использование нового экологически безвредного и приемлемого органического рабочего тела, необходимость применения которого обусловлена более высокими температурами горячей и холодной сторон процесса ОЦР по сравнению с процессами ОЦР установок, предназначенных только для производства электричества (геотермальных установок). Другим инновационным аспектом является первое демонстрационное применение установки с ОЦР, соединенной с топкой на биомассе через цикл термомасла. Другие инновационные решения (такие, как применение ротационного сепаратора для осаждения частиц и введения клеевой жидкости непосредственно через топку с целью снижения содержания NO_x) заменены стандартными решениями (применение мультициклона для контроля содержания частиц и введения клеевой жидкости прямо в топливо) в связи с тем, что не были решены эксплуатационные проблемы, возникшие в процессе работы установки.

5.2.3 Технические характеристики

Потребление биомассы [т]	5000
Номинальная мощность котла с термомаслом [МВт _т]	3,2
Номинальная мощность водогрейного котла [МВт _т]	4.0
Номинальная электрическая мощность процесса ОЦР [МВт _э]	0,4
Номинальная тепловая мощность процесса ОЦР [МВт _т]	2,25
Вспомогательное потребление электроэнергии [Вт/кВт]	10-13
Тепловая мощность котла с термомаслом [%]	70-75
Тепловая мощность водогрейного котла	89%
Тепловая мощность процесса ОЦР	80%
Электрическая мощность процесса ОЦР	18%
Общая тепловая мощность установки	98%
Тепловые и электрические потери	2%

5.2.4 Инициаторы и стороны, участвующие в реализации проекта

- STIA: инициатор и координатор проекта и владелец объекта.
- БИОС БИОЭНЕРЖИ СИСТЕМ ГмБХ (BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH): планирование, инжиниринг и мониторинг.
- Кохлбач: поставка котлоагрегата, устройства конденсации водяных паров из дымовых газов, ротационного сепаратора частиц.
- Турбоден: поставка системы ОЦР.

5.2.5 Финансирование

Общие инвестиционные затраты на строительство установки ТЭЦ на биомассе (без учета системы водогрейного котла) составили 3 200 000 Евро, включая затраты на мониторинг и распространение информации. Для реализации проекта был выделен национальный грант в размере 890 000 Евро через австрийский банк «Коммуналкредит АГ» (Kommunalkredit AG). Европейской комиссией были выделены 576 991 Евро. Финансирование остальных затрат, связанных с реализацией проекта, осуществлялось из собственного капитала и банковских кредитов.

Годовые затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание составляют 381 000 Евро (данные приведены ниже). Приведенная разбивка затрат демонстрирует одно из наиболее важных преимуществ технологии ОЦР — низкие объемы технического обслуживания и потребность в персонале.

затраты на топливную биомассу (Евро/год)	256 000 (67%)
затраты на персонал (Евро/год)	34 000
затраты на техническое обслуживание и ремонт (Евро/год)	50 000
затраты на удовлетворение потребности в выработке вспомогательной энергии (Евро/год)	26 000
другие затраты (административные, страховые, и т.д.) (Евро/год)	10 000

Доходы проекта составляют средства от продажи тепла деревообрабатывающему предприятию STIA, бенедиктинскому монастырю и местному коммунальному предприятию. Расчетный срок окупаемости проекта составляет 7 лет.

5.2.6 Результаты

В течение первого года установка работала с постоянной производительностью. Ее отключали только на несколько дней в летний период для технического обслуживания и из-за незначительных проблем, связанных с ошибками измерений различных параметров приборами. После монтажа и испытания установки были удалены два конструктивных компонента системы (система подачи клеевой жидкости и ротационный сепаратор частиц) в связи с тем, что не были решены вызванные ими эксплуатационные проблемы.

Общий объем произведенной электроэнергии составил в 2001 г. более 1 900 МВт_э (4 750 часов работы с полной нагрузкой). Промышленный КПД по электроэнергии поддерживался на уровне 18% при работе с частичной нагрузкой, что чрезвычайно важно при работе установки в режиме регулируемого производства теплоты. Выходная тепловая мощность составила приблизительно 10 000 МВт. Доходы от продажи тепла и электроэнергии составили соответственно 620 000 и 210 000 Евро в год.

Новая установка ТЭЦ позволила прекратить использование ископаемого топлива в бенедиктинском монастыре и на деревообрабатывающем заводе «STIA», а также мазута для производства электроэнергии, заменив пять прежних котлоагрегатов, работавших на мазуте. Установки на мазуте на предприятии «STIA» используются в настоящее время только в качестве резервного оборудования. Также новые установки обеспечивают более низкие уровни выбросов, способствуя сдерживанию изменения климата и повышению качества воздуха в регионе. Снижение уровня выбросов CO₂ составляет около 68% (2 800 т условного топлива в нефтяном эквиваленте в год), SO₂ — 86% (15 т условного топлива в нефтяном эквиваленте в год), NO_x — 48% (11 т условного топлива в нефтяном эквиваленте в год), общего количества органических соединений — 44% (4 т условного топлива в нефтяном эквиваленте в год), CO — 77% (21 т условного топлива в нефтяном эквиваленте в год) и пыли — 75% (10 т условного топлива в нефтяном эквиваленте в год).

5.2.7 Потенциал для воспроизведения

Результаты проекта становятся новым техническим стандартом для установок ТЭЦ, работающих на биомассе, в диапазоне мощностей 0,3–1,2 МВт_э. В 2002 г. в г. Льенц была введена в эксплуатацию новая, более крупная установка на биомассе системы централизованного теплоснабжения (1 МВт_э) в рамках программы последующей деятельности в период после реализации демонстрационного проекта. Также началось строительство еще четырех установок ТЭЦ с ОЦР. Проект служит моделью для децентрализованных установок, работающих на биомассе, в лесообрабатывающей промышленности и установок региональных систем централизованного теплоснабжения, применяемых с целью удовлетворения соответствующих потребностей в технологическом/отопительном тепле и производства электроэнергии для внутреннего потребления и сетей электроснабжения.



Рис. 5.4. Поставка системы ОЦР
(слева — испаритель; справа — регенератор;
в центре спереди — турбина и генератор;
в центре сзади — конденсатор).

5.2.8 Где получить дополнительную информацию

STIA – Holzindustrie GmbH
Mr. Helmuth Neuner or
Mr. Josef Landschützer
Sägestrasse 539
8911 Admont. Австрия
Тел.: +43 3613 3350 0
Факс: +43 3613 3350 17
info@stia.at
www.stia.at

BIOS – BIOENERGIESYSTEME GmbH
Mr. Ingwald Obernberger
Inffeldgasse 21b
A-8010 Graz, Австрия
Тел: +43- 316-481300
Факс: +43- 316-481300-4
office@bios-bioenergy.at
obernberger@bios-bioenergy.at
www.bios-bioenergy.at

Kohlbach GmbH & Co.
Grazer Straße 23
A-9400 Wolfsberg, Австрия
Тел: +43 4352 2157-0
Факс: +43)4352 2157-11
office@kohlbach.at
www.kohlbach.at

Turboden s.r.l.
Viale Stazione 23
25122 Brescia, Italy
Тел. +39.030 377 2341
Факс +39.030 377 2346
info@turboden.com
www.turboden.com

5.3 Установка комбинированного производства тепловой и электрической энергии и холода на биомассе «Фишер/ФАСС», г. Райд

5.3.1 Общие данные

Компания «Фишер ГмбХ», основанная в 1924 г. в городе Райд им Иннкрайс (Австрия), производит товары с торговой маркой, являющейся одним из наиболее известных брэндов в лыжном спорте и теннисе. Дочерняя компания ФАСС (Fischer Advanced Composite Components («Прогрессивные композитные компоненты Фишер») была основана в 1989 г. и в настоящее время является ведущей компанией Австрии в сфере разработки, изготовления и обслуживания компонентов, предназначенных для авиационной промышленности. Основные направления производственной деятельности включают изготовление элементов конструкции, обтекателей двигателей и элементов интерьера воздушных судов.

На протяжении почти 30 лет технологическое тепло, потребляемое предприятием по производству высокотехнологичной продукции компании «Фишер», вырабатывалось котлоагрегатом мощностью 8,3 МВт с резервным котлоагрегатом мощностью 4 МВт, сжигавшими 3 000 т тяжелого дизельного топлива за год с уровнем выбросов CO₂ около 9 456 т. Эта система была дешевой, но наносила значительный ущерб окружающей среде. Когда потребовалось ее заменить, компанией было принято решение вместо перевода старых котлов на природный газ использовать установку на биомассе, позволяющую снизить уровень выбросов CO₂.

Установка комбинированного производства тепловой и электрической энергии и холода была введена в эксплуатацию на предприятии компании «Фишер» весной 2001 г. Новая установка вырабатывает электроэнергию, теплоту и холод для нужд технологических процессов двух производственных объектов. Она также обеспечивает теплоснабжение системы отопления и тепло- и холодоснабжение системы кондиционирования воздуха. Компания «Фишер» является первой компанией в мире, обеспечившей удовлетворение собственных нужд в теплоте и холоде за счет использования такой инновационной установки, работающей на биомассе.

Инновационная технология применяется в сочетании с современной схемой финансирования. Эксплуатация установки осуществляется в рамках контракта на производство энергии сроком на 15 лет, заключенного с местной компанией «Шароплан» (Scharoplan) в июне 1999 г. Контракт предусматривает достижение плановых показателей при использовании энергии в производстве высокотехнологичной продукции, обеспечении безопасности поставок энергии, снижении уровней выбросов, выполнении обязательств по Киотскому протоколу и внесение вклада в социально-экономическое развитие региона.



Рис. 5.5. Разгрузка топлива, предназначенного для установки на биомассе.

Наиболее сложным условием выполнения строительно-монтажных работ было требование исключить задержки или прерывание производственного процесса на предприятии «Фишер/ФАСС». Поэтому работы выполнялись в выходные дни и во время остановок производственного процесса. Тщательное планирование работ и тесное сотрудничество между компанией «Шароплан» и техническим руководством компании «Фишер» позволили избежать значительных перерывов производственного процесса.

Проект (установка комбинированного производства тепловой и электрической энергии и холода + современная схема финансирования) был удостоен международной награды «Мировая премия за вклад в энергетическое развитие 2001» (Energy Globe Award 2001) как пример удовлетворения потребностей в энергии высокого качества высокотехнологичного предприятия с применением установки, работающей на биомассе.

5.3.2 Описание установки

Установка комбинированного производства тепловой и электрической энергии и холода компании «Фишер» работает на древесном топливе (коре, древесной щепе, отходах лесопильного производства). Потребляемая биомасса поставляется лесопильными предприятиями и предприятиями сельскохозяйственного и лесопромышленного секторов. Ежедневно на установку необходимо доставить около 180 м³ древесины. Чтобы обеспечить экологически приемлемую транспортировку топлива, на территории компании «Фишер/ФАСС» была проложена подъездная железнодорожная ветка. Для транспортировки части требуемого количества топлива (20000 м³/год,



Рис. 5.6. Монтаж установки на биомассе.

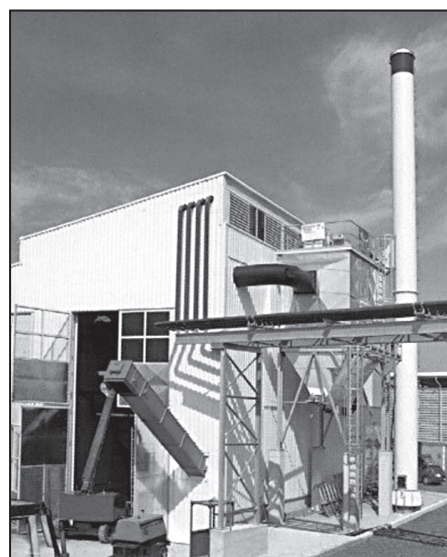


Рис. 5.7. Установка на биомассе после окончания строительно-монтажных работ.

около 1/3 всей потребляемой биомассы) был изготовлен железнодорожный вагон специальной конструкции длиной 30 м. Остальная часть топлива доставляется автомобильным транспортом.

Биомасса подается в топочную камеру. При сгорании топлива вода в теплообменнике нагревается до 400°C под давлением 29 бар. Затем пар расширяется в турбине, соединенной с электрическим генератором. Пар конденсируется и конденсат подается снова в котел. Горячая вода, имеющая температуру 150°C, подается на абсорбционную холодильную установку, которая генерирует технологический холод (18–22°C) для процесса производства лыж. Технологическое тепло подается на производственное оборудование с температурой 130°C. Технологическое тепло с температурой 250 и 290°C подается на два различных производственных процесса изготовления элементов конструкции воздушных судов. Вырабатываемое тепло также используется для отопления помещений (100°C).

5.3.3 Технические характеристики

Потребляемая биомасса, насыпной объем [м ³ /год]	50 000-60 000
Производство пара [т/ч] и температура [°C]	10 / 380
Максимальное рабочее давление [бар]	32 (предохранительный клапан)
Номинальная мощность котла [кВт]	7700
Номинальная тепловая мощность [кВт]	9625
Температура в топочной камере [°C]	850-900
Электрическая мощность [кВт _э]	915
Мощность абсорбционной холодильной установки [кВт]:	900
Давление выпуска пара турбины [бар]	4–6
Тепловая мощность теплового и холодильного теплообменников [кВт]	6200
Давление в теплообменниках [бар]	4-6

5.3.4 Инициаторы и участники реализации проекта

- «Фишер/ФАСС»: инициатор.
- Компания «Шароплан»: владелец объекта, консультации, планирование, организация финансирования (приглашение к участию в тендере) проекта, получение согласований и разрешений на реализацию проекта.
- Компания «Урбас ГмбХ»: поставка оборудования.

5.3.5 Финансирование

Общий объем инвестиций составил около 5 000 000 Евро. Вклад компании «Шароплан» составил 65% этой суммы. Остальные инвестиционные затраты финансировались за счет субсидий, предоставленных ЕС, правительством страны и федеральным штатом Верхняя Австрия.

Финансирование строительства установки осуществлялось по финансовой схеме с участием третьей стороны; компания «Шароплан» несет ответственность за реализацию финансовой схемы в соответствии с контрактом на поставку энергии, заключенным с компанией «Фишер». Расчетный срок окупаемости проекта составляет 15 лет.

5.3.6 Результаты

<i>Технические</i>	Годовая производительность установки комбинированного производства тепловой и электрической энергии и холода на биомассе составляет 26 000 МВт _т тепла, 1 000 МВт _т холода, 2 000 МВт·ч электроэнергии и 1 500 МВт·ч энергии теплового масла.
<i>Экологические</i>	Использование биомассы для удовлетворения в полном объеме собственных потребностей в энергии компании Фишер заменяет 2 553 тонн тяжелого дизельного топлива в год. Реализация проекта позволила снизить объем выбросов CO ₂ на 9 465 тонн в год и способствовала снижению уровня выбросов других загрязняющих веществ в регионе.
<i>Финансовые</i>	Общая стоимость объема энергии, вырабатываемой установкой, составляет 1 100 000 Евро в год, из которого 77% — тепловая энергия. Стоимость годового объема производства электроэнергии составляет 170 000 Евро.
<i>Социально-экономические</i>	Социально-экономические положительные результаты проекта включают создание и сохранение рабочих мест (около 100 000 человеко-часов на этапах планирования и производства строительного-монтажных работ и 3 человеко-года в период эксплуатации объекта). Кроме того, проект обеспечивает получение дополнительных доходов в сельскохозяйственном и лесопромышленном секторах. Доходы каждого из этих секторов от продажи отходов производства составляют 370 000 Евро в год. Проект также способствует снижению зависимости от импорта нефти.

5.3.7 Потенциал для воспроизведения

Для успешного воспроизведения этого проекта на других объектах необходимо обеспечить гарантированные поставки нужного количества топливной биомассы. Также проект должен отвечать условиям предоставления субсидий.

5.3.8 Где получить дополнительную информацию

Scharoplan
Mr. Helmut Roithmayer
Rainerstraße 21
4020 Linz
Австрия
Тел: +43 732 66 80 09
Факс: +43 732 66 85 60
tb@scharoplan.co.at
web: www.scharoplan.co.at

URBAS Maschinenfabrik GmbH
Billrothstrasse 7
A-9100 Völkermarkt
Тел 00-43-4232-2521-0
Факс: 00-43-4232-2521-55
Email: urbas@urbas.at
Web: www.urbas.at

5.4 Котельная установка местного коммунального теплоснабжения на биомассе (Сондре Ниссум)

5.4.1 Общие данные

В Дании на долю установок комбинированного производства тепловой и электрической энергии приходится около 70% тепла, вырабатываемого в централизованных системах теплоснабжения. Некоторые установки систем централизованного теплоснабжения малой мощности вырабатывают только тепло, и в настоящее время отмечается тенденция к строительству еще менее мощных установок на биомассе. Средняя мощность новых установок, действовавших в 1990-е гг., составляла только половину средней мощности установок, действовавших в 1980-е гг. В настоящее время рынок установок централизованного теплоснабжения почти насыщен, и в

районах, где централизованное теплоснабжение обычного типа является слишком дорогостоящим, все шире применяются местные установки.

Примером такого применения может служить установка в поселке Сондре Ниссум, где в 1990-е гг. местные власти рассматривали возможность строительства установки централизованного теплоснабжения, стоимость которой составляла 10 млн. датских крон (1,35 млн. Евро), но сочли эту стоимость неприемлемой для поселка, состоящего всего лишь из 130 домов, и отказались от реализации проекта.

Генри Тофт, один из местных фермеров, решил создать собственную сеть теплоснабжения с использованием в качестве топлива соломы с 430 гектаров принадлежащей ему земли. Сначала он изучил возможность продажи соломы для использования в качестве топлива на существующих котельных установках централизованной системы теплоснабжения. Так как цена соломы была слишком низкой, он решил построить собственную котельную установку. Сначала фермер планировал поставлять тепло не частным домашним хозяйствам, а одному крупному заказчику, муниципалитету города Ульфборга Вемб, который положительно отнесся к идее реализации проекта и проявил заинтересованность в приобретении тепла для централизованного теплоснабжения.

Когда стало известно о том, что фермер заключил договор с местными властями, к нему обратились несколько человек, проявившие заинтересованность в реализации проекта и закупке тепла, которое будет вырабатывать проектируемая установка на соломе. В течение нескольких недель к договору присоединились 56 местных домашних хозяйств, проявивших интерес к проекту, после чего Тофт смог приобрести установку, мощность которой вдвое превысила мощность той, которую планировалось купить первоначально. В настоящее время тепло подается в более чем 70 домашних хозяйств, местную начальную школу, спортивный центр и дом для престарелых.

Основное различие между установкой системы централизованного теплоснабжения обычного типа и установкой местного коммунального теплоснабжения мощностью более 250 кВт заключается в мощности и форме собственности. Установка системы централизованного теплоснабжения обычно имеет мощность более 1 МВт и принадлежит либо частной компании с ограниченной ответственностью, либо государству, например местным органам власти. Установка местного коммунального теплоснабжения, как правило, находится в собственности у нескольких фермеров или принадлежит товариществу, членами которого являются только один или два партнера.

5.4.2 Описание

Котельная установка мощностью 800 кВт, работающая на соломе (рис. 5.9), предназначена для подачи 70-80% тепла, потребляемого в холодный зимний период. Мощность установки обеспечивает оптимальную экономию тепла как зимой, так и в летнее время, когда оно вырабатывается только для горячего водоснабжения. В наиболее холодное время года установку дополняет котел на мазуте, который также осуществляет подачу тепла, когда котел на соломе отключается для технического обслуживания.



Рис. 5.8. Котельная установка в Сондре Ниссум.



Рис. 5.9. Котельная установка, работающая на соломе.



Работа котла осуществляется по простой технологической схеме (рис. 5.10). Генри Тофт подает большие тюки соломы (весом 530 кг) на ленточный транспортер раз или два раза в день. Тюки автоматически подаются на измельчитель соломы и затем с помощью пневматической системы — в бункер загрузки топлива. Из бункера солома подается непосредственно в топку котла. Тепло отпускается потребителям по сети теплоснабжения.

5.4.3 Инициаторы и участники реализации проекта

- Владелец: «Сондре Ниссум Фьернварме» (Søndre Nissum Fjern-varme).
- Главный подрядчик: «Лин-Ка Энержи А/С» (Lin-Ka Energy A/S).
- Эксперт по применению биомассы: датский технологический институт, Аархус.
- Финансовая поддержка: Датское энергетическое агентство.

5.4.4 Финансирование

Общие инвестиции

Общие инвестиции в строительство котельной установки и инфраструктуры составили 5 500 000 датских крон (740 000 Евро), при этом стоимость котельной установки, трубопроводной сети и амбара для хранения соломы составила 4 700 000 датских крон (приблизительно 630 000 Евро), а общая стоимость оборудования теплоснабжения индивидуальных потребителей — 800 000 датских крон (прибл. 110 000 Евро).

Финансирование

Датское энергетическое управление предоставило грант в размере 1,3 млн. датских крон (175 000 Евро). В местном банке был получен кредит на остальную сумму требуемых средств. Каждый потребитель внес символический взнос (600 датских крон) за подключение к котельной установке и подписал стандартный договор сроком на 10 лет, совпадающий со сроком амортизации.

Источники доходов

Котельная установка подает тепловместную сеть централизованного теплоснабжения.

Срок окупаемости

Согласно расчету, выполненному инициатором проекта, 10 лет.

Строительство объекта и инфраструктуры осуществлялось в минимальном объеме (были построены только амбар для хранения соломы и здание котельной) и не оплачивались консультационные услуги и надзор за производством строительно-монтажных работ. В результате инвестиционные затраты составили половину суммы затрат на реализацию проекта, от которого отказались местные власти.

Тепло, подаваемое на установку местного коммунального теплоснабжения, продается по 485 датских крон (прибл. 65 Евро) за МВт·ч. Частные потребители, отказавшиеся от прежних систем теплоснабжения и подключившиеся к системе теплоснабжения от установки, работающей на соломе, экономят в среднем по 2000 датских крон (приблизительно 270 Евро) в год.

5.4.5 Результаты

Первоначально к сети Тофта были подключены 34 отдельно стоящих дома, а также муниципальные здания, в том числе дом для престарелых, школа и местный спортивный зал. Благодаря низкой стоимости тепла, вырабатываемого установкой на соломе, местные жители продолжают подключаться к сети. В настоящее время к системе теплоснабжения подключены 75 потребителей.

<i>Производство энергии, потребление топлива</i>	Среднее производство энергии составило 2 ГВт·ч в период с октября 1999 г. по октябрь 2001 г. В период с октября 1999 г. по октябрь 2000 г. потребление соломы составило 900 тюков по 350 кг плюс 1500 литров печного топлива.
<i>Финансовые результаты</i>	Низкие эксплуатационные затраты обусловлены отсутствием персонала. Эффективный экономический расчет эксплуатации объекта позволил установить низкие цены на отпускаемое потребителям тепло (485 датских крон/МВт·ч).
<i>Социально-экономические результаты</i>	Используется местное топливо, Генри Тофт осуществляет эксплуатацию установки 30-60 минут в день, а его жена выполняет бухгалтерский учет.
<i>Положительные экологические результаты</i>	Выбросы CO ₂ , образующиеся при работе котельной установки, равны количеству CO ₂ , выделяемому естественно при разложении соломы. Если бы для выработки тепла использовался котел на нефтяном топливе, он потреблял бы около 200 т нефтяного топлива в год. Выбросы двуокси углерода, образующиеся при сжигании эквивалентного количества нефтяного топлива, составили бы около 600 т.

5.4.6 Потенциал для воспроизведения

Так как низкие затраты на инвестиции, эксплуатацию и ремонт позволяют устанавливать низкие цены на тепло, предполагается, что потенциал использования аналогичных малых установок централизованного теплоснабжения будет возрастать.

5.4.7 Где получить дополнительную информацию

Владелец

Sdr. Nissum Fjernvarme
Henry Toft
Kirkebyvej 25A, Sdr. Nissum,
DK-6990 Ulfborg, Denmark
Тел: +45- 97 49 56 79

Главный подрядчик

LIN-KA Maskinfabrik A/S (LIN-KA ENERGY)
Nylandsvej 38,
DK-6940 Lem, Denmark
Тел: +45 9734 1655
Факс: +45 9734 2017
linka@linka.dk
www.linka.dk

5.5 ТЭЦ на биомассе на предприятии «Хонкаракенне Ой» (Карстула)

5.5.1 Общие данные и цели

Город Карстула с населением 5 000 человек расположен в Центральной Финляндии в 100 км к северо-западу от г. Йиваскила. Установка расположена рядом с предприятием по производству бревенчатых домов компании «Хонкаракенне Ой». Компания «Хонкаракенне Ой» выпускает 90 00 м³ пиленной древесины и бревен для бревенчатых домов в год.

Основные цели проекта:

- Увеличение объема производства бревенчатых домов на предприятии «Хонкаракенне Ой».
- Повышение потребности в энергии, используемой для сушки бревен и горячей обработки.
- Возможность использования в качестве топлива побочных продуктов производства предприятия бревенчатых домов, включая стружки, кору и опилки.
- Расширение местной сети теплоснабжения в г. Карстула.

5.5.2 Описание

Компания «Хонкаракенне Ой» инвестировала значительные средства в развитие и расширение своих предприятий в г. Карстула. Для удовлетворения возрастающих потребностей в энергии (например, в тепле для сушки древесины) руководство компании приняло решение заменить старые котлы, работавшие на мазуте, на установку комбинированного производства тепловой и электрической энергии, работающую на древесных отходах. Установка мощностью 10 МВт_т вырабатывает 3 МВт_т тепловой энергии, подаваемой в муниципальную сеть централизованного теплоснабжения, 3 МВт_т технологического пара и 3 МВт_т для собственных нужд компании «Хонкаракенне». Кроме того, установка вырабатывает 1 МВт_э электроэнергии, используемой деревообрабатывающим предприятием. Годовое производство тепла составляет около 45 ГВт, а производство электроэнергии — 7 ГВтч.

В качестве топлива используются отходы лесопильного производства (рис. 5.12). Предприятие производит 400 грузовых автомобилей (70 ГВт·ч) древесных отходов в год. Топливо транспортируется колесными погрузчиками из предприятия на склад установки с объемом складирования 400 м³. Измеренная влажность топлива (стружка — 44%; кора — 30%; опилки — 26%) составляла 36%. Действительная влажность зависит от сочетания древесных отходов.

Котел на биомассе, поставленный компанией «Вяртсиля Финлэнд Ой» (прежнее название «Сермет Ой»), оснащен патентованной системой сжигания топлива «Био-Грэйт» («BioGrate»), обеспечивающей сжигание топливной биомассы с содержанием влаги от 30 до 65%.

Котел, оснащенный системой «БиоГрэйт» (рис. 5.13), оборудован вращающейся колосниковой решеткой с нижней подачей топлива с гидравлическим приводом,



Рис. 5.11. Компания «Хонкаракенне Ой» (Карстула, Центральная Финляндия).

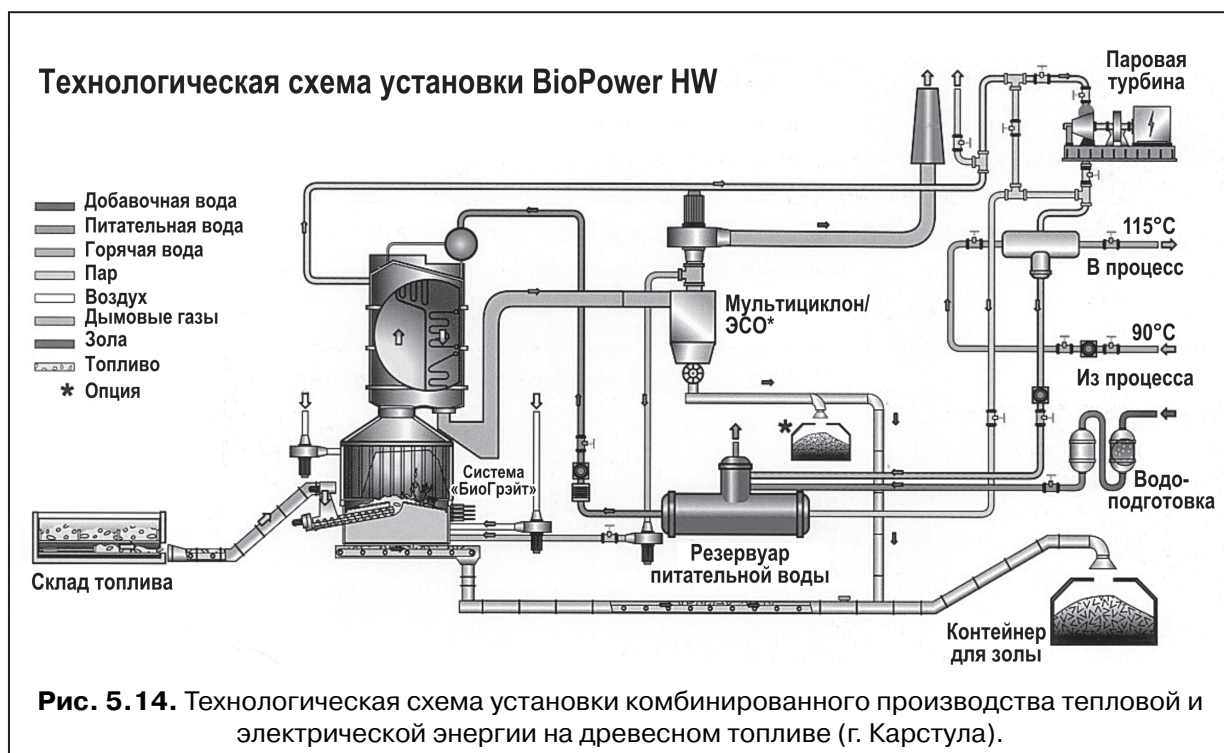


осуществляющей цикличное перемещение топлива. Перемещение решетки регулируется таким образом, чтобы обеспечить распределение топлива ровным слоем по всей площади решетки. Топливо подсушивается и воспламеняется на решетке. Основные преимущества вращающейся решетки в том, что:

- отсутствуют холодные пятна в первичной топочной камере;
- обеспечивается равномерная поверхность горения;
- обеспечивается плавное перемещение зон горения;
- во вторичной топочной камере происходит полное сгорание топлива.

Электроэнергия вырабатывается генератором, приводимым в действие паровым двигателем. Современная конструкция парового двигателя обеспечивает высокую величину отношения электроэнергия/тепловая энергия при полной тепловой нагрузке, что позволяет эффективно применять эту установку при производстве малых объемов электроэнергии. Эта установка имеет высокий КПД в диапазоне частичных нагрузок, является полностью автоматической и работает без обслуживающего персонала.





5.5.3 Технические данные

Котел	Система «БиоГрэйт» (BioGrate), 10 МВт
Параметры пара	22 бар, 350°C, 12 т/ч, противодействие 0-1 бар
Производство электроэнергии в год	5 ГВтч
Производство тепловой энергии в год	45 ГВтч
Используемое топливо	строгальная стружка, кора, опилки
Влажность топлива	35-45 вес. %

5.5.4 Инициаторы и участники реализации проекта

Установка была поставлена компанией «Вяртсиля Финлэнд Ой». Владелец установки является недавно учрежденная компания «Пуулааксон Энергия Ой», которой совместно владеют компания «Хонкаракенне Ой», «Кески Суомен Вало» (энергосистема) и городской совет г. Карстула.

5.5.5 Финансирование

<i>Общие инвестиции</i>	4 540 000 Евро
<i>Субсидии</i>	В связи с применением новой технологии Министерство торговли и промышленности Финляндии выделило 1 млн. Евро в качестве инвестиционной поддержки проекта.

5.5.6 Результаты

<i>Производство энергии</i>	Проектная тепловая мощность составляет 45 ГВт·ч; проектная электрическая мощность составляет 5 ГВт·ч. Количество тепла, предназначенного для поставок в сеть централизованного теплоснабжения (11 000 МВт·ч), не удовлетворяет потребности сети в тепловой энергии, поэтому г. Карстула имеет также собственную систему производства тепловой энергии.
-----------------------------	--

Потенциал для
воспроизведения

Большие объемы древесных отходов, вырабатываемые деревообрабатывающими предприятиями, свидетельствуют о возможности реализации аналогичных проектов в других регионах.

5.5.7 Потенциал для воспроизведения

Первая установка ТЭЦ с системой «БиоГрэйт» действует в г. Киуревсей (Финляндия) с 1999 г. С 1999 г. компания «Вяртсила» ежегодно продает несколько аналогичных установок. Более 80 установок с системой «БиоГрэйт» эксплуатируются в настоящее время в Европе (включая Россию) и Канаде.

5.5.8 Где получить дополнительную информацию

Wärtsilä Finland Oy
Power Plants, Biopower
Arabianranta 6
FIN-00560 Helsinki
Finland

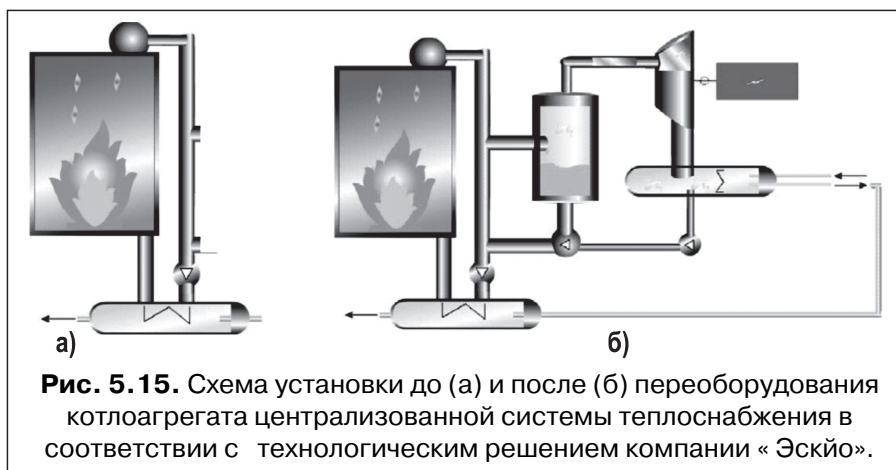
Тел: +358 10 709 0000
Факс: +358 10 709 5469
biopower@wartsila.com
www.wartsila.com

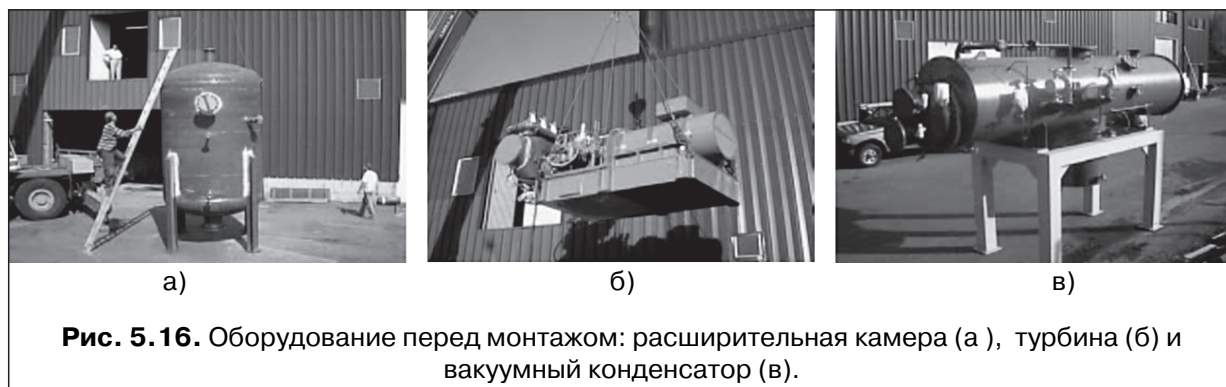
5.6 Замена установки на биомассе системы централизованного теплоснабжения на установку ТЭЦ на биомассе (г. Эскйо)

5.6.1 Общие данные

Принадлежащая муниципалитету энергетическая компания «Эскйо Энержи АВ» обслуживает расположенный на юге Швеции г. Эскйо, обеспечивая подачу тепла, вырабатываемого одной котельной установкой.

В 1980-х гг. в котельной был осуществлен монтаж четырех котлов на биомассе и отходах. В начале 1990-х гг. компания «Эскйо Энержи» проявила заинтересованность в самостоятельном производстве электроэнергии с тем, чтобы обеспечить собственные потребности и снизить затраты, связанные с эксплуатацией ТЭЦ. Стоимость строительства новой ТЭЦ была слишком высокой, однако когда в 1995 г. д-р Андерс Куллендорф изобрел процесс, позволяющий использовать водогрейный котел для выработки электроэнергии, которая согласно расчетам составляла 10% от общей производительности котла, компания «Эскйо Энержи» проявила интерес к этой технологии и внедрила ее в 1996 г. После того, как Шведское энергетическое управление согласилось поддержать проект, осенью 1997 г. компанией «Вапорел АВ» было поставлено и установлено оборудование для производства электроэнергии. С весны 1998 г. осуществляется эксплуатационная оценка этого оборудования.



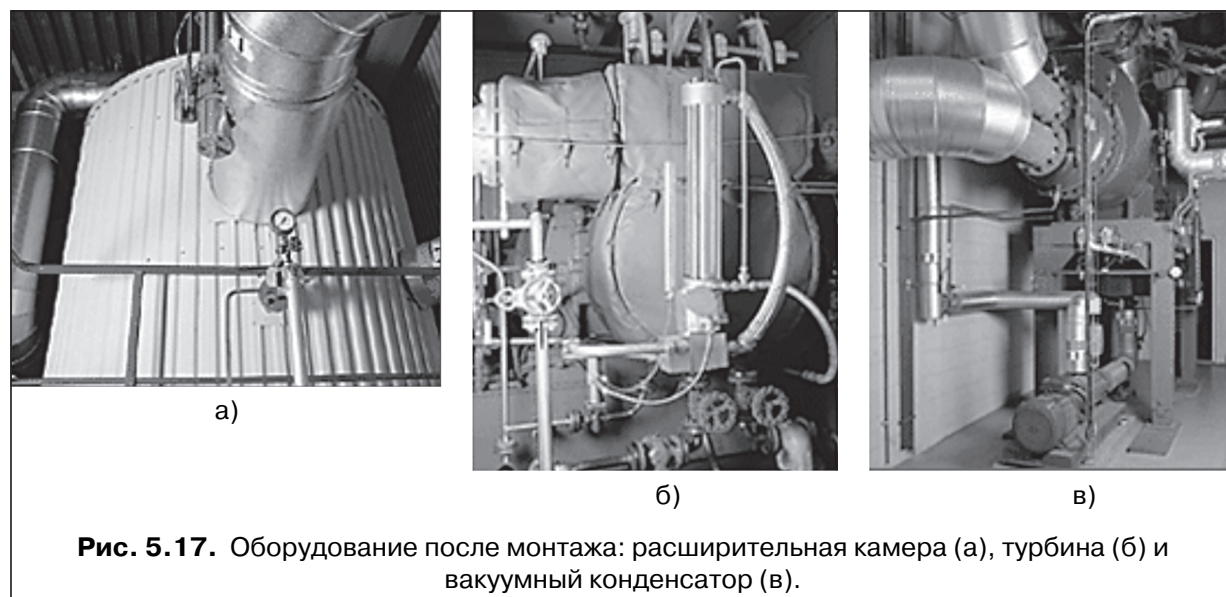


5.6.2 Описание

Установка в Эскйо (рис. 5.15) представляет собой котельную установку обычного типа, работающую на биомассе и отходах, содержащую водогрейный котел с давлением 16 бар – стандартным давлением, используемым на котельных установках и лесопильных предприятиях Швеции. Однако до переоборудования котельная установка работала под давлением 6-7 бар.

Производство электроэнергии стало возможным в результате повышения давления до 14 бар и преобразования части горячей воды в пар. Горячая вода подается из существующего котла в расширительную камеру, где некоторое ее количество преобразуется в пар и снижается давление. Пар, образовавшийся в расширительной камере, высвобождает часть энергии при расширении в турбине Кертиса. Генератор, непосредственно соединенный с турбиной, преобразует механическую энергию в электрическую. Конденсатор охлаждает пар, выходящий из турбины, для получения дополнительной электрической энергии. Нагретая охлаждающая вода подается в муниципальную сеть теплоснабжения, к печам лесопильного завода и другим потребителям (рис. 5.15, 5.17). В настоящее время установка компании «Эскйо» имеет электрическую мощность 920 кВт и вырабатывает 5500 МВт электроэнергии в год, которая используется в основном для собственных нужд.

Инновационным решением проекта является соединение расширительной камеры, турбины и существующего водогрейного котла без замены/реконструкции котлоагрегата и выработка электроэнергии с использованием водогрейного котла. Преимуществом этой системы является дешевое и простое технологическое решение, недостатком – ограниченное производство электроэнергии.



5. ОПИСАНИЕ ПРИМЕРОВ УСТАНОВОК И ТЕХНОЛОГИЙ

Новая система была установлена осенью 1997 г. шведской компанией «Вапорел АВ» и с весны 1998 г. проводится ее технологическая оценка.

5.6.3 Технические характеристики

Технологическое давление/температура, расширительная камера [бар/°C]	14,5 / 197
Давление /температура в расширительной камере [бар/°C]	9,5 / 178
<i>Выработка пара</i>	
- Тип котла	стационарный кипящий слой
- Мощность котла [МВт _т]	10
- Расход расширительной воды [кг/с]	107
- Выработка пара [кг/с]	3,8
- Выработка пара от потока на впуске	3,4%
<i>Вакуумный конденсатор</i>	
- Давление/температура [бар/°C]	0,5 / 81
Электрическая мощность [МВт]	920
Годовое производство электроэнергии [МВт·ч/год]	5500
Тепловая мощность (технологическое тепло или тепло централизованного теплоснабжения) [МВт _т]	прибл. 9100

5.6.4 Инициаторы и участники реализации проекта

Компания «Эскйо Энержи АВ» является владельцем и оператором установки. Компания «Вапорел АВ» разработала расширительную камеру и являлась основным подрядчиком.

5.6.5 Финансирование

<i>Общий объем инвестиций</i>	Общий объем инвестиций компании «Эскйо» на переоборудование котельной установки в строительство ТЭЦ составил 6,2 млн. шведских крон (прибл. 568 000 Евро). Удельные затраты составили около 7000 шведских крон (приблизительно 760 Евро) на установленный кВт _т . Удельные затраты на инвестиции ниже для установок большей мощности (>1 Мвт).
<i>Субсидии</i>	Шведское правительство выделило 1,6 млн. шведских крон (приблизительно 147 000 Евро), так как технология была признана представляющей интерес для других компаний, осуществляющих теплоснабжение с использованием водогрейных котлов, и имелся ряд технических рисков.
<i>Источники доходов</i>	Установка подает горячую воду в местную сеть теплоснабжения.
<i>Период окупаемости</i>	Расчетный период окупаемости составляет 5-6 лет.

5.6.6 Результаты

<i>Технические</i>	<ul style="list-style-type: none">• Имелся ряд проблем, связанных с наладкой оборудования в течение первых месяцев эксплуатации.• Потребовалось некоторое время для настройки системы управления.• После января 1999 г. установка работала практически бесперебойно; коэффициент эксплуатационной готовности составил около 99%.
<i>Экологические</i>	Выработка электроэнергии на ТЭЦ делает ее энергонезависимой, что способствует снижению потребности в электроэнергии из других источников.
<i>Финансовые</i>	Экономический анализ показал, что низкие инвестиционные и эксплуатационные затраты при выработке электроэнергии для собственных нужд делают эксплуатацию установки рентабельной без предоставления субсидий.
<i>Социально-экономические</i>	Увеличилась потребность в обслуживании установки в результате ее переоборудования в ТЭЦ, что может способствовать созданию рабочих мест.

5.6.7 Потенциал для воспроизведения

В Швеции имеется большое число водогрейных котлов аналогичной конструкции, которые могут быть легко переоборудованы для производства электроэнергии, так как проектное давление котла превышает давление, необходимое для выработки тепла. Благодаря низким инвестиционным затратам это решение также может представлять интерес для деревообрабатывающих предприятий.

5.6.8 Где получить дополнительную информацию

Основной подрядчик

Vaporel AB
Storgatan 53
SE-571 32 Nässjö, Sweden
Для: Mr Erik Österlin
Тел: +46 380 760 92
Факс: +46 380 760 99
erik.osterlin@vaporel.se
www.vaporel.se

Изобретатель

Dr. Anders Kullendorf
S. E. P. Scandinavian Energy Project AB
Bror Nilssons Gata 16
SE-417 55 Göteborg, Sweden
Тел: +46 31-779 42 00
Факс: +46 31-51 18 91
anders.kullendorff@sep.se
www.sep.se

Владелец и оператор

Eksjö Energi AB
SE-575 80 Eksjö, Sweden
Attn. Hans-Åke Tilly, Managing Director
Тел +46 381 368 66 000
Факс: +46 381 135 48
hansake.tilly@eksjo.se
www.eksjoenergi.se

ЛИТЕРАТУРА

Wood fuels basic information pack. Textbook co-ordinated by BENET Bioenergy Network of Jyväskylä Science Park Ltd (Finland). Second edition 2002

(Древесное топливо — базовый пакет информации. Издание пособия координировалось Сетью биоэнергетики BENET компании Йивяскила Сайэнс Парк Лтд. (Финляндия). Второе издание, 2002 г.)

Handbook of Biomass Combustion and Co-firing. Prepared by Task 32 of the Implementing Agreement on Bioenergy under the auspices of the International Energy Agency. Eds. Sjaak van Loo and Jaap Koppejan, TNO-MEP, Apeldoorn (The Netherlands). ISBN 90365-17737. First edition 2002

(Руководство по сжиганию биомассы и комбинированной топке различными видами топлива. Подготовлено Рабочей группой 32 «Исполнительного соглашения о биоэнергии» под эгидой Международного энергетического агентства. Изд. Сяак Ван Лоо и Яаап Коппейан, TNO-MEP, Апельдоорн (Нидерланды). ISBN 9036517737. Первое издание, 2002 г.)

Wood for Energy Production: Technology - Environment - Economy. Prepared by the Centre for Biomass Technology on behalf of the Danish Energy Agency. Ed. Helle Serup, Danish Forest and Landscape Research Institute, Hørsholm (Denmark). ISBN: 87-90074-28-9. 2002. Second Revised Edition, 2002

(Руководство по производству энергии: технология — окружающая среда — экономика. Подготовлено Центром технологии биомассы по поручению Датского энергетического агентства. Изд. Хелле Серуп, Датский институт лесных и ландшафтных исследований, Нерсхолм (Дания). ISBN: 87-90074-28-9. 2002 г. Второе исправленное издание, 2002 г.)

The Brilliance of Bioenergy — In Business and In Practice. By Ralph E H Sims. Published by James & James (Science Publishers) Ltd, London (UK). February 2002

(Великолепие биоэнергии — в бизнесе и на практике. Ральф Е.Х. Симс. Издательство: Джеймс энд Джеймс (Издательство научной литературы) Лтд, Лондон (СК). ISBN 1 902916 28 X. Февраль, 2002 г.)

Ingwald Obernberger and Gerold Thek, Basic information regarding decentralised CHP plants based on biomass combustion in selected IEA partner countries. Final report. BIOS, Graz (Австрия), February 2004

(Обернбергер И. и Тек Г. Основная информация о местных ТЭЦ, работающих на биомассе, в отдельных странах-партнерах МЭА. Окончательный отчет. BIOS, Грац (Австрия), февраль, 2004 г.)

Ingwald Obernberger and Gerold Thek, Techno-Economic evaluation of selected decentralised CHP plants based on biomass combustion in IEA partner countries. Final report., BIOS, Graz (Австрия), March 2004

(Обернбергер И. и Тек Г. Технико-экономическая оценка отдельных местных ТЭЦ, работающих на биомассе, в отдельных странах-партнерах МЭА. Окончательный отчет. BIOS, Грац (Австрия), март, 2004 г.)

I. Obernberger, H. Carlsen and F. Biedermann, State-of-the-art and future developments regarding small-scale Biomass CHP systems with a special focus on ORC and Stirling engine technologies, Presented at International Nordic Bioenergy conference, 2003

(Обернбергер И., Карлсен Х. и Бидерман Ф. Современное состояние и перспективы развития систем ТЭЦ малой мощности, работающих на биомассе, в частности, технологий ОЦР и двигателя Стирлинга. Доклад на Международной конференции северных стран по использованию биоэнергии, 2003 г.)

Kaltschmitt M. en Reinhardt G.A. (Hrsg.), Energie aus Biomass — Grundlagen, Techniken und Verfahren, Springer Verlag, Heidelberg, 2001

(Калтсшмитт М., Райнхардт Г.А. (Хрсг.). Энергия из биомассы. Хайделберг, 2001.)

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.), Leitfaden Bioenergie: Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen, FNR, Gülzow, 2000

Christian Langheinrich and Martin Kaltschmitt, Options for Energy Production from Wood — Technologies and Systems —, Presentation of the Institute for Energy and Environment, Leipzig, Germany (undated)

(Лангайнрих К., Калтсшмитт М. Варианты производства энергии из древесины — технологии и системы. Доклад Института энергии и окружающей среды. Лейпциг, Германия (без даты).)

J. Fischer, Technologies for small scale biomass CHP-Plants — an actual survey. Presentation of Biomass Information Centre BIZ, IER, University of Stuttgart 2003

(Фишер Д. Технологии для установок ТЭЦ малой мощности — практический обзор. Доклад Информационного центра по использованию биомассы BIZ, IER, Университет г. Штутгарта, 2003.)

Roy Ellenbroek, Biomass combustion technologies — Compilation of existing literature. Prepared for: MOPE — Agency for the Efficient Use of Energy, Ljubljana, Slovenia, September 2003

(Элленброэк Р. Технологии сжигания биомассы. Компиляция публикаций ВТГ. Публикация подготовлена для MOPE (Агентство по эффективному использованию энергии), Любляна, Словения. Сентябрь, 2003.)

Приложение 1

ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ТЕРМИНОЛОГИЯ

АКРОНИМЫ И СОКРАЩЕНИЯ

Общие

СЗ	содержание золы, зольность (биомассы)
ТЭЦ	установка комбинированного производства тепловой и электрической энергии (когенерации), теплоэлектроцентраль
ЦПС	циркулирующий псевдооживленный слой
СО	сухая основа
СУ	связанный углерод
ВТС	высшая теплотворная способность (высшая теплота сгорания)
ВС	внутреннее сгорание
НТС	низшая теплотворная способность
СВ	содержание влаги, влажность (биомассы)
ЭТС	эффективная теплота сгорания (равна НТС, низшей теплотворной способности)
ПАУ	полициклические ароматические углеводороды
ЧМ	частей на миллион
ВО	влажная основа
ε	коэффициент полезного действия, КПД
λ	коэффициент избытка воздуха
η	производительность
φ	массовый расход

Подстрочные обозначения

мп	материал при получении
н	с м ³ : насыпной объем (равен удельному объему, умноженному на [1-пористость])
со	сухая основа
сбзо	сухая беззольная основа
э	электроэнергия
м	с %: массовый процент
с	с м ³ : удельный (или действительный) объем твердого материала
т	теплота
общ	общее
об	с %: объемные проценты
во	влажная основа
вес:	с %: весовые проценты

Единицы и префиксы

Длина, площадь, объем

м	метр
м²	квадратный мер
м³	кубический мер
Нм³	кубический метр при нормальных условиях: 273,15 °С и 101325 Па.

Часть А: Сжигание биомассы

Н_ем³ равен Нм³, но с содержанием О₂ 11 объемных %, и содержанием Н₂О 0%.

Вес

г грамм

кг килограмм

кг_x килограмм вещества при определенном значении содержания влаги ($CB_{\text{вес}}$) с х %_м

т тонна (1000 кг)

т_x тонна вещества при определенном значении содержания влаги ($CB_{\text{вес}}$) с х %_м

Время

д день (24 часа)

ч час

с секунда

год год (365 дней)

Тепловая и электрическая энергия

Дж джоуль

кВт·ч киловатт-час (3 600 000 Дж, или 3,6 МДж)

Бте Британская тепловая единица, 1055,06 Дж

Вт Ватт (=Дж/с)

Температура

°С градусов Цельсия

°К градусов Кельвина, °С + 273.15

Давление

Па Паскаль

бара бар, абсолютное давление, 10⁵ Па

барн измеренных бар, по отношению к давлению окружающей среды, 10⁵ Па

атм атмосфера, 101325 Па

Префиксы

мк, μ микро (10⁻⁶)

м милли (10⁻³)

с санти (10⁻²)

к кило (10³)

М мега (10⁶)

Г гига (10⁹)

Т тера (10¹²)

Определения

Общие

<i>Коэффициент избытка воздуха (λ)</i>	действительное количество воздуха по отношению к стехиометрическому, обеспечивающему полное сгорание топлива, объемное или молярное отношение (моль/моль)
<i>Коэффициент эксплуатационной готовности</i>	отношение действительного числа часов работы к общему числу часов периода эксплуатации
<i>Насыпная плотность</i>	вес на единицу объема материала, уложенного в контейнер
<i>Выгорание</i>	(или выгорание углерода). Степень удаления углерода при сгорании или газификации остатка твердого топлива
<i>Степень сухости</i>	отношение массы пара к общей массе смеси пара/жидкости
<i>Соотношение воздух/топливо</i>	то же, что и коэффициент избытка воздуха (используется в описаниях процессов газификации)
<i>Степень избытка воздуха</i>	коэффициент избытка воздуха минус 1
<i>Генераторный газ</i>	газы и пары, образующиеся в процессе газификации
<i>Пиролизный газ</i>	газы и пары, являющиеся побочными продуктами процесса карбонизации
<i>Удельная плотность</i>	вес материала, деленный на объем, занимаемый твердым материалом

Анализ материалов

<i>Зольность</i>	количество инертного вещества, оставшегося после сгорания топлива в соответствии с заданным режимом (технический анализ), образующегося из минералов, содержащихся в топливе, и кислорода, подаваемого в процессе горения
<i>Угли</i>	обугленная биомасса, состоящая в основном из углерода и золы
<i>Подсушенная биомасса</i>	материал биомассы, который подвергался операции подсушивания; без указания влажности
<i>Сухое вещество</i>	вес вещества без содержащейся в нем воды
<i>Связанный углерод</i>	углерод, оставшийся после нагрева (см. технический анализ)
<i>Технический анализ</i>	определение с помощью установленных методов влажности (ISO 331), содержания летучих веществ (ISO 562), зольности (ISO 1171), содержания связанного углерода (ISO 609) в топливе
<i>Элементарный анализ</i>	определение с помощью установленных методов элементарного состава топлива
<i>Влажность</i>	в настоящей работе определяется по влажной основе, если не указано иное

Теплотворная способность

Высшая теплотворная способность

количество высвободившегося тепла на единицу массы топлива после сгорания топлива в кислороде при стандартных условиях (при постоянном объеме); продукты сгорания включают выделившийся газ (содержащий кислород, двуокись углерода, двуокись серы, азот, воду и другие окисленные компоненты), воду в равновесном соотношении с паром, насыщенную двуокисью углерода, и золу. Следует учитывать, что ВТС включает теплоту испарения почти всей воды, содержащейся в получаемом газе. Определение НТС следует выполнять по ISO 1928.

Низшая теплотворная способность

количество высвободившегося тепла на единицу массы топлива после сгорания топлива в кислороде при стандартных условиях (при постоянном объеме, весь объем воды содержится в газовой фазе); продукты сгорания включают двуокись углерода, двуокись серы, водяной пар и золу при температуре 25°C. Следует учитывать, что НТС не включает теплоту испарения воды, содержащейся в газообразных продуктах сгорания. Определение НТС следует выполнять по ISO 1928.

КПД

КПД по холодному газу

отношение НТС газа к НТС исходного твердого топлива

КПД по горячему газу

КПД по холодному газу плюс количество ощутимого тепла газа при эталонных условиях (20°C, 101325 Па)

Общий КПД

отношение вырабатываемой энергии к потребляемому топливу, теплотворная способность которого определяется как ВТС

Эффективный КПД

отношение вырабатываемой энергии к потребляемому топливу, теплотворная способность которого определяется как НТС

Приложение 2

ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ СЖИГАНИИ БИОМАССЫ, И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Загрязняющие вещества, образующиеся при сжигании биомассы, и их воздействие на климат, окружающую среду и здоровье.

Компонент	Биомасса-источник	Воздействие на климат, окружающую среду и здоровье
Двуокись углерода (CO ₂)	Основной продукт горения всех видов топливной биомассы.	Климат. ГППД (газ прямого парникового действия). Однако биомасса является топливом, нейтральным по выбросу CO ₂
Моноокись углерода (CO)	Неполное сгорание всех видов топливной биомассы.	Климат. Газ непрямого парникового действия, воздействует через образование озона. Здоровье. Пониженное потребление кислорода особенно сильно воздействует на состояние больных астмой и зародыши. В крайних случаях — приступы удушья.
Метан (CH ₄)	Неполное сгорание всех видов топливной биомассы.	Климат. ГППД. ГНПД (Газ непрямого парникового действия, воздействует через образование озона.
Не содержащие метана летучие органические компоненты (NMVOC)	Неполное сгорание всех видов топливной биомассы.	Климат. ГНПД, воздействует через образование озона. Здоровье. Отрицательные воздействие на систему органов дыхания человека.
Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)	Неполное сгорание всех видов топливной биомассы.	Окружающая среда. Образование смога. Здоровье. Канцерогенное воздействие
Частицы	Сажа, уголь и конденсат тяжелых углеводородов (деготь), образующиеся при неполном сгорании всех видов топливной биомассы. Зольная пыль и соли.	Климат и окружающая среда. Обратный парниковый эффект через образование аэрозоля. Непрямой эффект — содержание тяжелых металлов в осажденных частицах. Здоровье. Отрицательное воздействие на систему органов дыхания человека. Канцерогенное воздействие.
Окислы азота (NO _x = NO и NO ₂)	Побочный продукт горения всех видов топливной биомассы. При определенных условиях дополнительное количество NO _x может образовываться из азота воздуха.	Климат и окружающая среда. Непрямой парниковый эффект через образование озона. Обратный парниковый эффект через образование аэрозоля. Кислотные осадки. Повреждение растений. Образование смога. Коррозионное повреждение, повреждение материалов. Здоровье. Отрицательные воздействие на систему органов дыхания человека. NO ₂ токсичен.
Захислы азота (N ₂ O)	Побочный продукт горения всех видов топливной биомассы, содержащих азот.	Климат. ГППД. Здоровье. Непрямое воздействие через разрушение озона в атмосфере.

Часть А: Сжигание биомассы

Аммиак (NH_3)	Может происходить выброс небольших количеств, образующихся в результате неполного преобразования NH_3 при пиролизе/газообразовании.	Окружающая среда. Кислотные осадки. Повреждение растений. Коррозионные повреждения, повреждения материалов. Здоровье. Отрицательное воздействие на систему органов дыхания человека.
Оксиды серы ($\text{SO}_x = \text{SO}_2$ и SO_3)	Побочный продукт горения всех видов топливной биомассы, содержащих серу.	Климат и окружающая среда. Обратный парниковый эффект через образование аэрозоля. Кислотные осадки. Повреждение растений. Образование смога. Коррозионные повреждения, повреждения материалов. Здоровье. Отрицательное воздействие на систему органов дыхания человека, вызывают астму.
Тяжелые металлы	Все виды топливной биомассы содержат некоторое количество тяжелых металлов, которые остаются в золе или испаряются.	Здоровье. Накапливаются в пищевой цепи. Могут быть токсичными или оказывать канцерогенное воздействие.
Озон (в приземном слое) (O_3)	Вторичный продукт реакций в атмосфере с участием CO , CH_4 , NMVOC и NO_x .	Климат и окружающая среда. ГППД. Повреждение растений. Образование смога. Повреждение материалов. Здоровье. Непрямое воздействие через разрушение озона в стратосфере. Отрицательное воздействие на систему органов дыхания человека, вызывает астму.
Хлористый водород	Побочный продукт горения всех видов топливной биомассы, содержащих хлор.	Окружающая среда. Кислотные осадки. Повреждение растений. Образование смога. Коррозионные повреждения, повреждения материалов. Здоровье. Отрицательное воздействие на систему органов дыхания человека. Токсичен.
Диоксины и фураны ПХДД/ПХДФ	Возможны выбросы небольших количеств, образующиеся при протекании реакций с участием углерода, хлора и кислорода в присутствии катализаторов (Cu).	Здоровье. Высокотоксичны. Повреждение печени. Повреждение центральной нервной системы. Снижение иммунной защиты. Накапливаются в пищевой цепи.

Часть Б:

**Производство и поставка
древесного топлива**

1 ВИДЫ ЛЕСНОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

В настоящей главе описываются виды лесного древесного топлива и рассматривается взаимосвязь между древесным топливом и деловой древесиной.

1.1 Что является лесным древесным топливом?

Древесное топливо представляет собой биотопливо, полученное из деревьев, которое состоит из древесины, коры, хвои или листьев. Древесное топливо можно подразделить на топливо из спелого древостоя, топливо из приспевающей, молодой древесины, подроста и топливо из переработанной древесины. Заготовка древесного топлива может осуществляться при проведении плановых лесозаготовительных работ (первичное лесное древесное топливо) или на предприятиях лесоперерабатывающей промышленности (промышленные древесные отходы).

В настоящей работе основное внимание уделяется рассмотрению вопросов, связанных с заготовкой первичного лесного древесного топлива, т.е. лесосечных отходов, стволовой древесины, полученной при проведении рубок главного пользования и промежуточного пользования, и древесины, на которую отсутствует промышленный спрос и которая непригодна для промышленного использования. Связи между различными группами и категориями древесного топлива показаны на рис. 1.1.

1.2 Части дерева

В производствах, связанных с получением биоэнергии, возможно использование *всех частей дерева*, а не только стволов, обычно учитываемых в качестве деловой древесины в традиционных лесных кадастрах, и вся имеющаяся биомасса представляет одинаковую ценность. В этой работе используется следующая классификация частей дерева (рис. 1.2):



Рис. 1.1. Классификация биотоплива, древесного топлива и лесного древесного топлива.

- *Дерево с корнем* обозначает всю массу надземной и подземной частей дерева.
- *Дерево* обозначает массу дерева над пнем, включая ствол и массу кроны, без пнево-корневой древесины.
- *Ствол* не включает пнево-корневую древесину и крону. Ствол, включающий кору, делится на товарную и нетоварную части.
- *Нетоварная часть ствола* (иногда просто «вершина») означает его верхнюю часть, которая не используется при заготовке древесины из-за малого диаметра и высокой ветвистости. Размер нетоварной вершины определяется методами лесозаготовительных операций.
- *Крона* включает, как правило, все мертвые и живые ветви, а также всю листву и репродуктивные органы.
- *Ветви* включают древесину и кору (живых и мертвых ветвей), но не включают листья, хвою, побеги и репродуктивные органы.
- *Листва (хвоя)* обычно обозначает все листья, новые побеги и репродуктивные органы.
- *Пень* представляет собой неиспользуемую надземную часть ствола, расположенную под нижним срезом используемого в качестве товарной древесины ствола, с подземной частью, включая стержневой корень, но без боковых корней.
- *Пнево-корневая древесина* включает пень и все корни.
- *Корни* включают все боковые корни, но не включают стержневой корень.

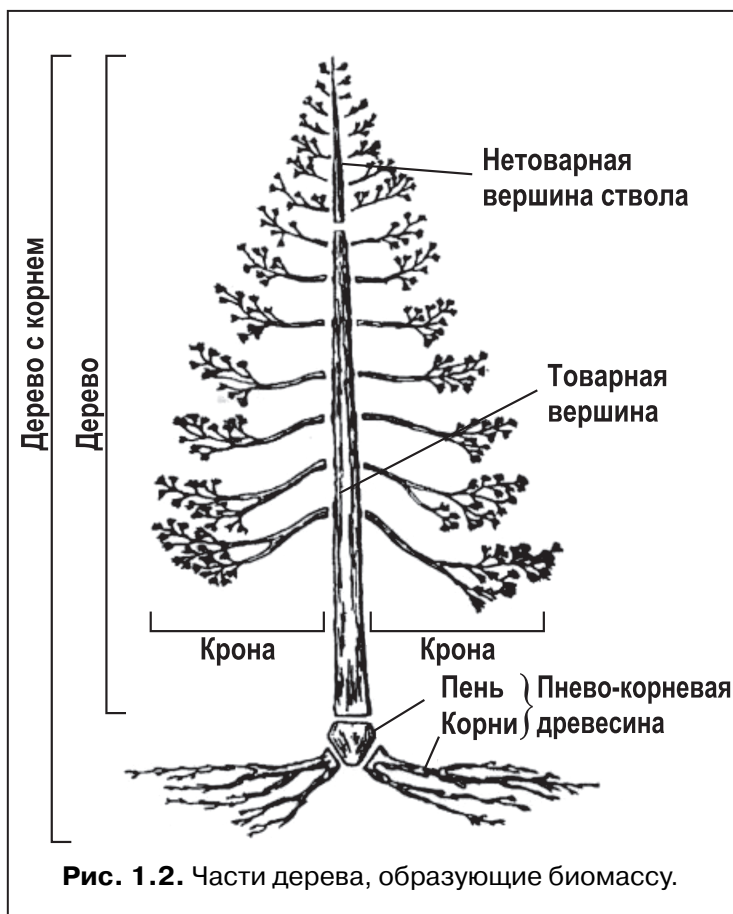


Рис. 1.2. Части дерева, образующие биомассу.

Приложение 1 содержит подробный словарь этих и других терминов по лесной биоэнергетике и лесозаготовкам.

1.3 Источники лесного древесного топлива

Основными источниками лесного древесного топлива (которое также называют энергетическим топливом) являются:

- лесосечные отходы от рубок главного пользования;
- низкосортные деревья, непригодные для использования в качестве сырья в лесной промышленности;
- тонкомерная древесина, заготавливаемая при проведении рубок ухода и прореживания молодняка;
- тонкомерная древесина, являющаяся побочным продуктом первых коммерческих рубок прореживания;
- пни и корни на участках проведения лесовосстановительных работ.

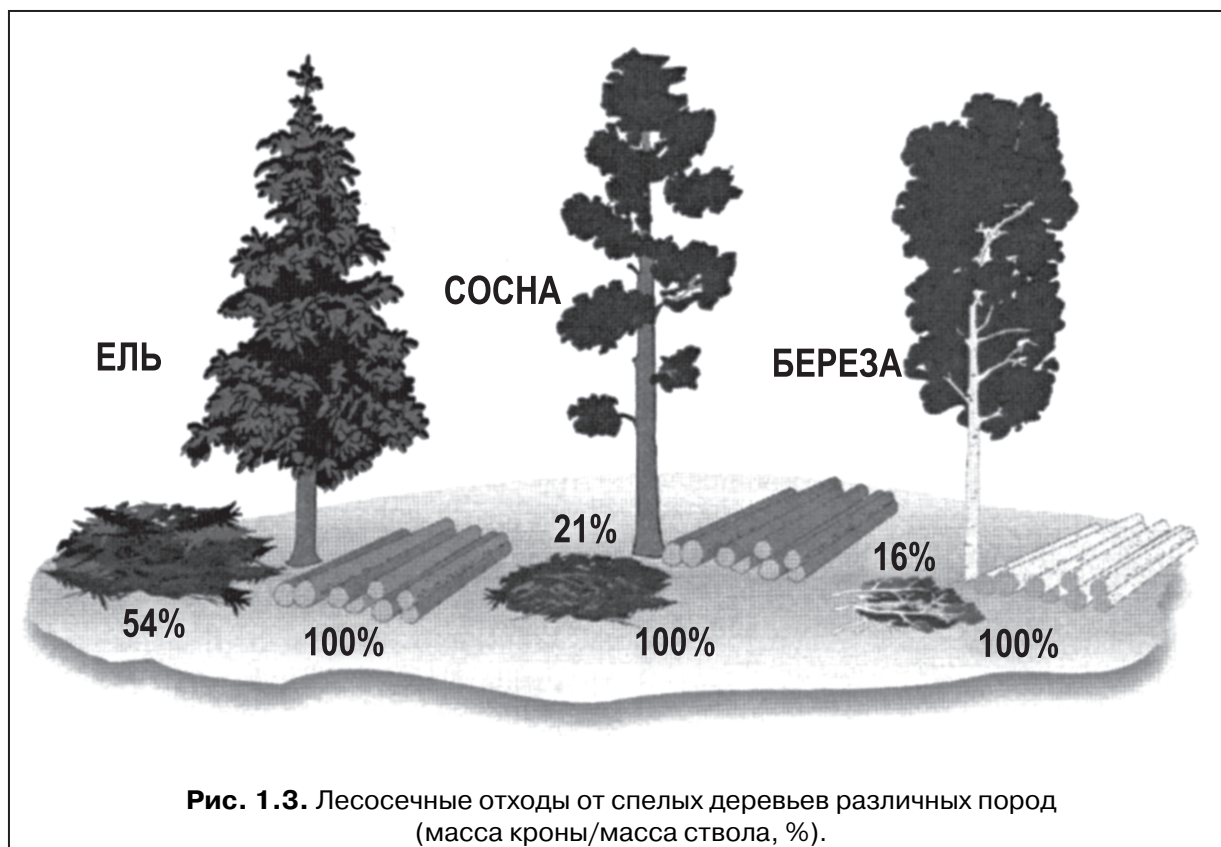
Часть Б: Производство и поставка древесного топлива

Лесосечные отходы состоят из листвы, хвои, вершин деревьев, сучьев и ветвей, нетоварных балансов и подроста. Они образуют основной экономически значимый источник сырья в производстве древесного топлива. Однако количество и состав лесосечных отходов варьируются в значительных пределах в зависимости от ряда факторов. Количество лесосечных отходов зависит от породы деревьев, объема древостоя, размеров, степени ветвистости деревьев (т.е. отношения массы кроны к массе ствола) и степени разложения древесины. На рис. 1.3 показано отношение между массой кроны и массой стволов трех различных пород деревьев. Отношение «масса кроны/масса ствола» может изменяться в зависимости от географического региона в естественных пределах пород различных деревьев.

Наилучшим потенциалом для получения энергии из древесины обладают лесосечные отходы, заготавливаемые на рубках главного пользования спелых еловых древостоев с издержками, обеспечивающими конкурентоспособность продукции. Выход лесосечных отходов зависит от методов рубки, характеристик применяемых машин и оборудования, времени производства лесозаготовительных работ, а также от того, является ли заготавливаемая древесина свежей или подсушенной. В среднем уровень выхода лесосечных отходов спелого елового древостоя составляет от 65 до 75% их потенциальной массы и от 20 до 30% товарной древесины, заготавливаемой на данной лесосеке.

Различные факторы, такие как интенсивное воздействие насекомых, болезни или пожары, могут делать низкосортные деревья непригодными для использования в качестве сырья в лесной промышленности, однако они остаются пригодными для использования в качестве древесного топлива.

Рубки ухода и рубки прореживания в молодняках необходимы для последующего развития лесов, позволяющих получить деловую древесину высокого качества. Производство топлива (щепы) из древесины, заготавливаемой при проведении первых прореживаний, имеет ряд преимуществ. Своевременное прореживание молодого древостоя повышает выход древесины в будущем. Щепка из такой древесины имеет высокое



качество, так как содержит меньше хвои, чем щепа из лесосечных отходов, а биомасса из маломерной древесины лучше просушивается.

Хотя во многих странах и признают, что рубки прореживания необходимы, имеют эти и другие преимущества, прореживание молодняка часто не производится из-за высоких издержек или отсутствия соответствующих лесохозяйственных методов. Несмотря на отсутствие промышленного спроса на маломерные деревья, они могут являться значительным источником топливной древесины.

Пни, остающиеся на участках лесовосстановительных работ, являются ценным источником топлива, позволяющим получить его даже больше, чем лесосечные отходы. В Финляндии разработаны новые методы заготовки пней с использованием экскаваторов, оснащенных зубчатыми корчевателями специальной конструкции и колесных харвардеров для трелевки пней. Заготовку пнево-корневой древесины можно совмещать с культивацией почвы, необходимой для лесовосстановления. Заготовка пней позволяет также бороться с корневой гнилью. Пневая древесина может эффективно использоваться в качестве топлива предприятиями, которые вложили финансовые средства в закупку стационарных дробилок.

Методы заготовки тонкомерных деревьев, лесосечных отходов и пней описаны в разделах 4–6 соответственно.

1.4 Методы поставок лесной древесины

Поставки лесной древесины включают продажу, планирование производства, заготовку и измерение объемов, а также дальнюю транспортировку лесной древесины на лесопильные предприятия. Лесозаготовка, являющаяся основной операцией в системе поставок лесоматериалов, включает валку леса и внедорожную транспортировку заготавливаемого древесного топлива от места заготовки (от пня) к лесовозной дороге или другому месту хранения. Так как заготовка и производство древесного топлива тесно связаны с операциями по поставке деловой древесины на лесопромышленные предприятия, необходимо общее понимание основных систем заготовки и поставки лесной древесины.

- Заготовка и поставка лесной древесины в североевропейских странах основаны на использовании **системы заготовки сортиментов** (балансов, бревен, сортиментов), которая предусматривает обрезку сучьев и ветвей (т.е. очистку от них деревьев или отрезков деревьев) и раскряжевку деревьев на сортименты на лесосеке. Таким образом, значительный объем работ выполняется в лесу. Трелевка (подвозка) лесоматериалов на верхний склад осуществляется форвардерами (погрузочно-транспортными самозагружающимися лесными тракторами).
- В **системе заготовки деревьев** сначала производится их валка, как правило, с помощью бензопилы или валочно-пакетирующей машины, и затем стволы с кроной доставляются трелевочным трактором к лесовозной дороге. Обрезка сучьев и раскряжевка хлыстов (поперечная распиловка) на сортименты производятся после внедорожной транспортировки, либо на верхнем складе перед вывозкой, либо после доставки деревьев лесовозом на нижнем лесном складе или лесопильном заводе.
- **Система заготовки хлыстов** аналогична системе заготовки деревьев; отличие между ними заключается в том, что при заготовке хлыстов обрезка сучьев производится на лесосеке у пня.
- Системы заготовки **полных деревьев и деревьев с корнями** применяются редко.

В приложении 2 сравниваются преимущества и недостатки систем заготовки сортиментов, хлыстов и целых деревьев.

1.5 Заготовка лесного древесного топлива и ее связь с традиционными системами заготовки леса

Одним из определяющих факторов процесса заготовки лесного древесного топлива является степень интеграции операций по заготовке древесного топлива в традиционную систему лесозаготовительных операций. На начальном этапе производства работ по заготовке древесного топлива уровень интеграции обычно является низким и, как правило, используется существующая технология с незначительными изменениями. На этом этапе отсутствует четкая организационная связь с традиционными лесозаготовительными операциями, заготовка древесного топлива выполняется как отдельная подчиненная операция. Этот процесс называют «двухпроходной системой» заготовки древесного топлива.

Примерами использования этой системы в североевропейских странах являются первые промышленные методы заготовок лесного древесного топлива, основанные на сборе и трелевке образующихся при заготовке сортиментов отходов, которые позволяют провести испытания и оптимизировать заготовительные операции без существенного экономического риска и необходимости внесения значительных изменений в организацию и методы производства работ. Этот подход рекомендуется для использования в Беларуси. В этом случае требуется внесение лишь незначительных организационных и технических изменений в стандартные методы производства лесозаготовительных работ. Однако «двухпроходная система», способная обеспечить низкий или средний уровень интеграции работ, не позволяет полностью реализовать существующий экономический потенциал.

Более высокий уровень интеграции позволяет применить метод и технологии «однопроходной системы», осуществляемые параллельно со скоординированными лесозаготовительными работами. Интеграция операций по заготовке древесного топлива и сортиментов для промышленных целей позволяет полностью использовать преимущества технологии совместного производства работ. С другой стороны, возрастает степень риска и повышаются требования к организации работ. В системах с высоким уровнем интеграции заготовка древесного топлива является составной частью производственного планирования; номенклатура сортиментов определяется с учетом выхода лесосечных отходов, а выбор технологий и методов лесозаготовительных работ определяется задачами интегрированного процесса лесозаготовительных операций.

2 ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ЗАГОТОВКЕ ТОПЛИВНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

В настоящей главе* описывается оборудование, применяемое при заготовке топливной древесины. Производственная цепочка по заготовке топливной древесины включает ряд отдельных операций (технологических этапов): валку, трелевку, обрезку сучьев/окорку, измельчение и вторичную транспортировку. При производстве топливной древесины также требуются просушка и хранение заготовленных лесоматериалов.

Две или более технологических операций могут выполняться одной машиной, что делает систему более компактной. Примером такого совмещения операций является харвестер. В разделе 2 описываются отдельные элементы методов заготовки топливной древесины.

2.1 Валка

Валка деревьев производится с помощью бензомоторной (цепной) пилы или более сложного оборудования. В настоящее время с целью обеспечения безопасности и по экономическим причинам все шире используют более сложное оборудование, однако валка деревьев с применением бензомоторной пилы остается наиболее распространенным методом лесозаготовительных работ.

Валочно-пакетирующая машина представляет собой специализированную машину, оборудованную манипулятором с валочной головкой с пилой. При выполнении несплошной рубки для валочно-пакетирующей машины для передвижения в древо-



* Представленная информация приводится в основном по публикациям ETSU (1990) и ETSU (1993).

стое требуется проход. Подготовка просек обычно производится посредством валки деревьев с помощью бензомоторной пилы.

Харвестеры (валочно-сучкорезно-раскряжевочные машины) представляют собой машины, осуществляющие валку деревьев и выполняющие не менее двух операций по обработке деревьев. Компоновка рабочих органов, предназначенных для валки и обработки деревьев, может быть совмещенной (однозахватный харвестер) или отдельной (двухзахватный харвестер).

Для заготовки тонкомерных деревьев харвестер может оснащаться **валочным пачковым устройством** (для накопления срезанных деревьев), позволяющим производить валку и перемещение нескольких деревьев за одну операцию.

Другое оборудование, применяемое для заготовки тонкомерных деревьев, включает валочно-трелевочные машины с трелевкой деревьев в полупогруженном состоянии и харвестеры с разделкой деревьев на отрезки. **Валочно-трелевочная машина с трелевкой деревьев в полупогруженном состоянии** представляет собой малогабаритную четырехколесную машину, оборудованную погрузочным устройством с шарнирным манипулятором параллельного действия и валочной головкой, навешиваемой на манипулятор. **Харвестер, осуществляющий разделку деревьев на отрезки**, представляет собой машину, оснащенную валочной пилой с захватом, навешиваемой на длинный манипулятор. В большинстве моделей таких харвестеров используется шасси форвардера, переоборудованное посредством переноса кабины и удаления погрузочной секции.

2.2 Трелевка

Трелевка, т.е. транспортировка деревьев от лесосеки к дороге, и их складирование для дальнейшей обработки (которую также называют «лесной транспортировкой» или «первичной транспортировкой») может осуществляться различными способами. Техника, применяемая для трелевки деревьев, включает форвардеры, а также тракторы для трелевки деревьев в полупогруженном положении и оснащенные тросовыми трелевочными устройствами.

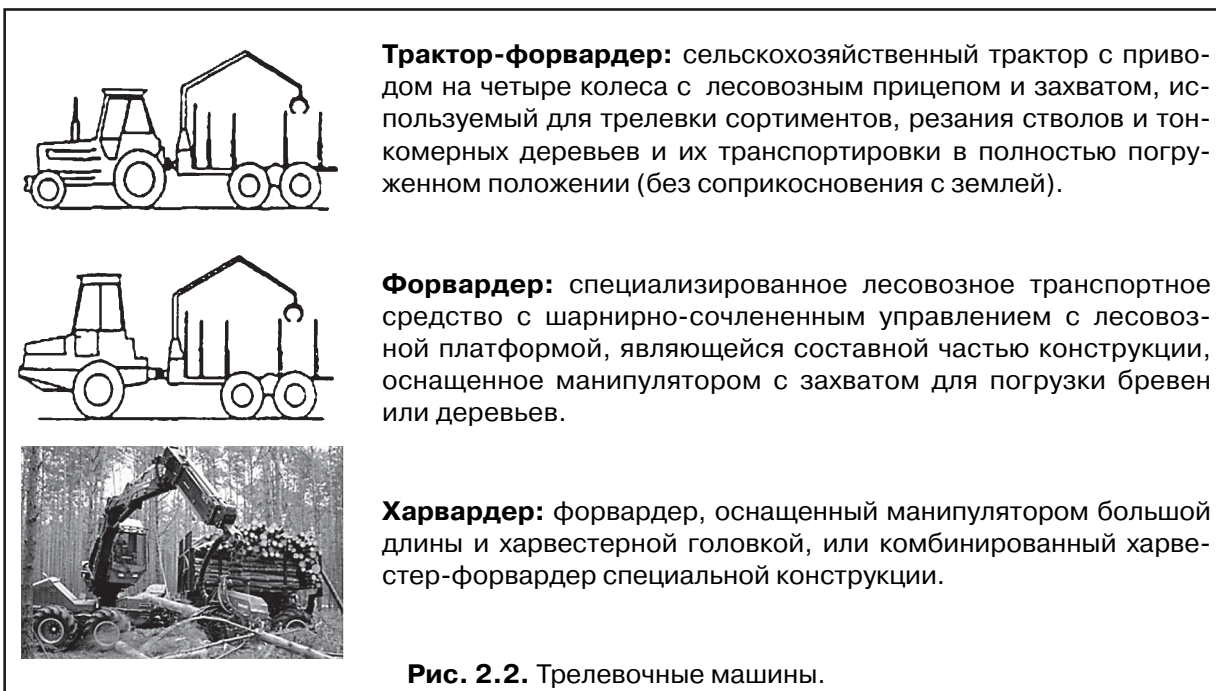
2.2.1 Форвардеры

Трелевка деревьев на ровной поверхности осуществляется в основном тракторами-форвардерами и форвардерами специальной конструкции (сортиментовозами). Форвардеры все шире используются при производстве лесозаготовительных работ, в основном для трелевки сортиментов, хотя их можно использовать для сбора лесосечных остатков и мелких частей деревьев. Лесовозные прицепы, буксируемые сельскохозяйственными тракторами, могут выполнять те же операции, что и форвардер, но с более низкой производительностью.

Мощные четырехосные тракторы-форвардеры с широкими колесами наносят меньший ущерб почвенному покрову, в особенности на уязвимых почвах, чем форвардеры. В техническом отношении форвардеры более сложной конструкции с балансирной подвеской, вспомогательным приводом и ломающейся рамой являются более функциональными и маневренными, чем форвардеры обычного типа.

Харвестер с разделкой деревьев на отрезки представляет собой машину, оснащенную валочной пилой с захватом, навешиваемой на длинный манипулятор. В большинстве моделей используется переоборудованное шасси форвардера с перенесенной кабиной и удаленной погрузочной секцией.

На манипулятор с захватом форвардера может навешиваться харвестерная головка, что позволяет объединить операции валки и трелевки деревьев в единый процесс. На одной из иллюстраций на рис. 2.2 показан такой харвардер (харвестер-форвардер).



2.2.2 Трелевочные тракторы

Трелевочные тракторы (рис. 2.3) представляют собой машины простой конструкции, предназначенные для подтаскивания хлыстов или целых деревьев к месту складирования для дальнейшей обработки (переработки) или погрузки на транспортные средства. Как правило, они осуществляют трелевку целых деревьев, поднимая над поверхностью земли только один конец дерева, что часто приводит к загрязнению дерева землей и камнями.

Наиболее эффективно трелевка тонкомерных деревьев осуществляется с помощью **трелевочных тракторов с пачковыми захватами**. Использование телескопических захватов значительно снижает риск повреждения деревьев по краям волоков. При использовании **грейферного захвата для бесчokerной трелевки**, рекомендуемого для трелевки деревьев, транспортировку облегчает возможный подъем груза.

Для трелевки деревьев большего диаметра используются **трелевочные тракторы с лебедками**. На крутых склонах стандартным методом является трелевка с использованием радиоуправляемых трелевочных тракторов с лебедками.

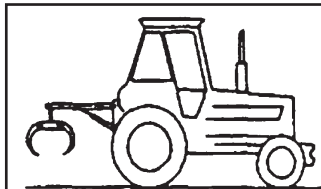
2.2.3 Канатные трелевочные установки

Монтируемые на тракторах и грузовых автомобилях канаты используются для трелевки деревьев на участках местности с крутыми склонами, где не могут безопасно передвигаться колесные транспортные средства (рис. 2.4). В этом случае увеличиваются затраты на производство лесозаготовительных работ и трелевка лесосечных отходов, предназначенных для использования в качестве топливной древесины, если не производится трелевка целых деревьев, как правило, не является экономически целесообразной.

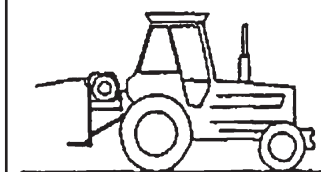
2.3 Обрезка сучьев/окорка

Обрезка сучьев деревьев и отрезков деревьев производится по двум причинам: для разделки сортиментов и более удобной транспортировки. Наибольшее количество деревьев очищают от сучьев на стандартных окорочных машинах на заводах по производству целлюлозы. Также применяются другие специализированные машины, такие как стационарные или передвижные сучкорезные машины барабанного типа и цеповые сучкорезные машины.

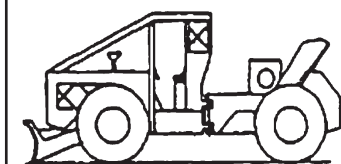
Барабанную сучкорезную машину обычно размещают на лесном складе или лесопильном заводе. Внутри барабана барабанной сучкорезной машины установлены ножи, предназначенные для обрезки сучьев. Крупные и мелкие ветви и вершины, отделенные от хлыста, перерабатываются в топливо в молотковой дробилке. Установив **цеповую сучкорезную машину** на полуприцеп, можно получить компактную передвижную сучкорезную машину. Очистка от сучьев у нее осуществляется с помощью цепей, закрепленных на роторах. Ветви, вершины и мелкие древесные куски перерабатываются в щепу.



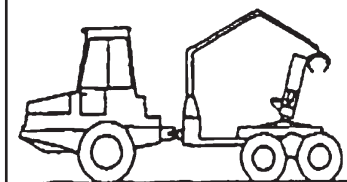
Сельскохозяйственный трелевочный трактор с пачковым захватом: лесной трактор с приводом на четыре колеса с задненавесным захватом, предназначенный для трелевки деревьев. Осуществляет трелевку деревьев, поднимая один конец груза над поверхностью земли во время трелевки.



Сельскохозяйственный трелевочный трактор с лебедкой: лесной трактор с приводом на четыре колеса, оснащенный задненавесной лебедкой, с приводом от механизма отбора мощности трактора. Осуществляет трелевку деревьев, приподнимая один конец груза над поверхностью земли во время трелевки.

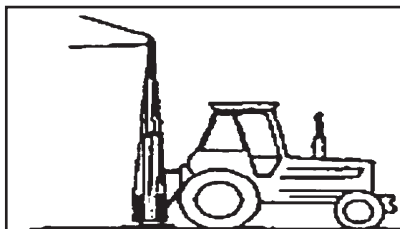


Трелевочный трактор с лебедкой и телескопическим манипулятором: специализированное лесовозное транспортное средство с приводом на четыре колеса, с шарнирно-сочлененным управлением и с барабанной лебедкой, являющейся составной частью конструкции. Осуществляет трелевку целых деревьев, приподнимая один конец груза над поверхностью земли во время трелевки.

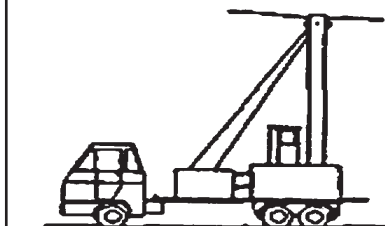


Грейферный трелевочный трактор для бесчokerной трелевки: специализированное лесовозное транспортное средство с шарнирно-сочлененным управлением с гидравлическим манипулятором, монтируемым на платформе, и выполненным заодно с захватом. Осуществляет трелевку целых деревьев, поднимая один конец груза над поверхностью земли во время трелевки.

Рис. 2.3. Типы трелевочных тракторов.



Канатная установка, монтируемая на тракторе: включает стрелу и барабанную лебедку с приводом от механизма отбора мощности трактора. Обеспечивает трелевку стволовой древесины или целых деревьев на участках местности с крутыми склонами; биомасса транспортируется полностью или частично без соприкосновения с землей.



Канатная установка, монтируемая на грузовом автомобиле: включает стрелу и барабанную лебедку; также обеспечивает трелевку грузов полностью или частично без соприкосновения с землей. Как правило, имеет большую грузоподъемность по сравнению с устройствами, монтируемыми на тракторе.

Рис. 2.4. Типы канатных трелевочных установок.

2.4 Измельчение

Измельчение обычно осуществляется резкой или рубкой (когда инструмент с острой режущей кромкой используется для измельчения биомассы на частицы требуемой формы) лесоматериалов, либо применяется тупой ударный инструмент, которым обрабатываемый материал дробят или расщепляют с образованием частиц неопределенной формы; этот процесс часто называют дроблением или шредованием.

По конструкции рубительные машины делят на дисковые, шнековые и барабанные (см. приложение 3). Дисковые и шнековые рубительные машины более пригодны для измельчения однородного древесного сырья, такого как деревья и очищенные от сучьев длинномерные балансы. Барабанные рубительные машины, которые не так чувствительны к неоднородному материалу, как дисковые рубительные машины, могут применяться и для переработки лесосечных отходов.



В лесной промышленности применяют различные типы машин, предназначенных для измельчения древесного сырья (рис. 2.5). Рубительные машины могут быть оснащены собственным двигателем, агрегатироваться с трактором или грузовым автомобилем. Высокопроизводительные рубительные машины обычно имеют собственный двигатель. Производительность рубительной машины зависит от ее технических характеристик, свойств древесного сырья и условий применения. Производительность малых рубительных машин, предназначенных для использования на частных участках, составляет 5–20 насыпных м³ щепы/рабочий час. Рубительные машины большой мощности имеют производительность до 150 насыпных м³ щепы /рабочий час. Подача древесного сырья в такие машины осуществляется гидравлическими манипуляторами. Механическая подача древесного сырья обеспечивает большую безопасность и является более эффективной, чем ручная подача.



Ковшовый погрузчик на пневмоколесном ходу большой грузоподъемности с приводом на четыре колеса с шарнирно-сочлененным управлением, оснащенный высокопрочным вилочным захватом для сбора лесосечных отходов.



Сельскохозяйственный трактор с прицепным контейнером для транспортировки щепы в лесу с гидравлическим механизмом опрокидывания. Предназначен для транспортировки щепы от рубительной машины по легкопроходимой местности.



Форвардер с контейнером для транспортировки щепы. Форвардер с гидравлическим самосвальным бункером для транспортировки щепы, заменивший кониковое устройство обычного типа для транспортировки бревен. Предназначен для транспортировки щепы от рубительной машины по пересеченной местности.



Самосвальный прицеп для транспортировки насыпного материала. Автопоезд прицеп/тягач, предназначенный для транспортировки насыпного материала. Прицеп может быть отцеплен и оставлен в лесу для загрузки.



Самосвал. Грузовой автомобиль без прицепа с опрокидывающимся грузовым отсеком, предназначенным для транспортировки сыпучего материала.



Грузовой автомобиль без прицепа со съемным сменным контейнером предназначен для транспортировки материалов. Разгрузка может осуществляться опрокидыванием контейнера, который может быть оставлен в лесу для загрузки.



Лесовозный автомобиль. Автопоезд прицеп/тягач, предназначенный для транспортировки бревен и деревьев, помещаемых между стойками коника. Оснащен манипулятором с захватом для самозагрузки.



Одна из конфигураций съемного контейнера – **контейнер с крючковым роликовым подъемным механизмом**. На рисунке показана комбинация сельскохозяйственного трактора с контейнером с крючковым роликовым подъемным механизмом. Быстрая замена контейнера может производиться даже на сильно пересеченной местности.

Рис. 2.6. Машины, предназначенные для вторичной транспортировки лесосечных отходов.

2.5 Вторичная транспортировка

Хотя для транспортировки мелких грузов могут использоваться сельскохозяйственные тракторы или форвардеры, вторичная транспортировка (транспортировка на дальние расстояния) лесосечных отходов к месту переработки (или на центральный склад) обычно осуществляется грузовыми автомобилями. Используются различные типы грузовых автомобилей в зависимости от транспортируемого материала и от типов машин, которые осуществляют загрузку в лесу и на которые производится перегрузка сырья на месте переработки; тип используемого грузового автомобиля также зависит от того, какие транспортные средства имеются в районе производства работ (рис. 2.6).

Для транспортировки деревьев, отрезков деревьев с сучьями или спакетированных лесоматериалов используются **открытые лесовозные автопоезда**. Перевозка биомассы, состоящей из мелких частиц и загружаемой навалом (щепы, дробленого древесного топлива, обломков древесины, расщепленных пней), осуществляется в **закрытых лесовозных автопоездах** или **контейнеровозах**. Закрытые лесовозные автопоезда имеют большую полезную грузоподъемность (рис. 2.7).

Автопоезд любого из этих типов можно составить с различным числом и расположением осей тягача и прицепа (прицепов). Это позволяет осуществлять транспортировку тяжелых грузов, обеспечивая соответствие требованиям правил дорожного движения к максимальной нагрузке на ось. При транспортировке щепы следует также учитывать максимальную вместимость контейнера. При транспортировке бревен или деревьев ограничительным фактором может являться длина прицепа.

2.6 Система лесозаготовок и состав оборудования

В системе лесозаготовок применяются инструменты, механизмы и машины, предназначенные для осуществления лесозаготовительных работ на отведенном участке. Состав элементов системы можно изменять без изменения методов лесозаготовки (т.е. методов валки и доставки лесоматериалов к лесовозной дороге). В типичной системе заготовки сортиментов заданной длины (обычно применяемой в североевропейских странах) могут использоваться однозахватный харвестер, осуществляющий валку, обрезку сучьев и раскряжевку деревьев у пня, и форвардер, транспортирующий балансы и сортименты к лесовозной дороге. При заготовке хлыстов стандартный метод включает валку деревьев с помощью ручного моторного инструмента (бензопилы), обрезку сучьев и вершин, трелевку хлыстов к лесовозной дороге и разделку у лесовозной дороги. В типичной системе заготовки деревьев используются валочно-пакетирующая машина, трелевочный трактор с пачковым захватом, сучкорезная и раскряжевочная машины. В табл. 2.1 приведен состав оборудования для каждого из трех методов. Как можно видеть из данных таблицы, наиболее универсальными являются система и методы заготовки сортиментов. По этой причине они используются почти в 100% лесозаготовительных операций, осуществляемых в североевропейских странах.



Часть Б: Производство и поставка древесного топлива

Таблица 2.1. Характеристики и состав оборудования основных методов лесозаготовок.

Характеристика	Сортименты	Хлысты	Деревья
Валочное оборудование	Бензопила	Бензопила	Бензопила
	Однозахватный харвестер	Валочно-пакетирующая машина	Валочно-пакетирующая машина
	Двухзахватный харвестер	Однозахватный харвестер	
		Двухзахватный харвестер	
Внедорожное трелевочное оборудование	Форвардер	Трелевочный трактор с канатной оснасткой	
	Трелевочный трактор с канатной оснасткой (ограниченное применение)	Трелевочный трактор с пачковым захватом	
		Грейферный трелевочный трактор для бесчokerной трелевки	
		Канатная трелевочная лебедка	
Участок обрезки сучьев и вершин	У пня	У пня	У дороги
		На лесосеке	Обрезка не производится
Место раскряжевки	У пня	На участке валки	У дороги
		Лесной склад	Центральный склад
		Лесопильный завод	Лесопильный завод
		В лесу раскряжевка не производится	В лесу раскряжевка не производится
Распределение отходов	Равномерное	Равномерное, кучи у лесовозной дороги	–
	Небольшие валки	Мелкие кучи	Отходы отсутствуют
Площадь верхнего склада	Малая	Средняя	Большая
Максимальное эффективное расстояние транспортировки вне дороги (по прямой линии)	600 м	Трелевочные тракторы с канатной оснасткой и трелевочные тракторы с пачковым захватом — 300 м	
		Грейферные трелевочные тракторы для бесчokerной трелевки — 600 м	
Требования к характеристикам подъездной дороги	8,3 м/га	Трелевочные тракторы с канатной оснасткой и трелевочные тракторы с пачковым захватом — 16,7 м/га	
		Грейферные трелевочные тракторы для бесчokerной трелевки — 8,3 м/га	
Интенсивность движения машин на участке	Низкая	Трелевочные тракторы с канатной оснасткой и трелевочные тракторы с пачковым захватом — высокая	
		Грейферные трелевочные тракторы для бесчokerной трелевки — умеренная	
Нарушение почвенного покрова – сухой грунт	Слабое	Умеренное	Сильное
Нарушение почвенного покрова – мерзлый грунт	Минимальное	Слабое	Слабое
Нарушение почвенного покрова – влажный грунт	Умеренное	Сильное	Сильное
Защита оставшихся деревьев и лесовосстановление	Хорошая	Умеренная	Низкая

В последующих главах приводятся примеры методов заготовки лесного древесного топлива, применяемые в основном в северо-европейских странах, преимущественно в Финляндии и Швеции.

3 ИСТОЧНИКИ ЛЕСНОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

В настоящей главе* описываются сырьевая база древесного топлива, заготавливаемого для использования в промышленных целях, и методы заготовки лесного древесного топлива, применяемые в Финляндии. Описываются методы заготовки лесосечных отходов на рубках главного пользования, тонкомерных деревьев на первых рубках прореживания, а также пней и корней на рубках главного пользования. Представляет интерес новый вид лесозаготовительных работ — заготовка пней.

3.1 Заготовка лесосечных отходов на рубках главного пользования

В Финляндии заготовка лесосечных отходов осуществляется на рубках главного пользования в насаждениях с преобладанием ели на лесосеках непосредственно после валки деревьев. К лесосечным отходам относят ветви, вершины, листву и хвою, а также нетоварную стволовую древесину. На рубках главного пользования еловых древостоев с выходом деловой древесины, составляющим 200–250 м³/га, количество заготавливаемых лесосечных отходов достигает 70–110 м³/га, т.е. около 40% общего количества



Рис. 3.1. Сбор лесосечных отходов на участке лесовозобновления; куча лесосечных отходов; пакетирование лесосечных отходов; транспортировка пачек.

заготовленного леса, из которых может быть заготовлено около 50–80 м³/га. Для снижения потерь питательных веществ около трети лесосечных отходов оставляют на лесосеке, распределяя их максимально равномерно по всей площади участка лесовозобновления. Как правило, этот метод включает подсушивание лесосечных отходов на лесосеке. Сбор и вывоз лесосечных отходов производится из куч, сформированных харвестером. Это также снижает местную нагрузку питательных веществ и сток в грунтовые воды и водоемы (рис. 3.1).

3.2 Тонкомерная древесина, заготавливаемая на первых рубках прореживания

В настоящее время в Финляндии изучаются возможности метода заготовки тонкомерных деревьев на первых рубках прореживания. Древесное сырье из тонкомерных деревьев включает тонкомерную стволовую древесину, ветви, листву и хвою. Заготов-



Рис. 3.2. Валка и трелевка тонкомерных деревьев на лесосеке.

* Информация приводится в основном по публикации Halonen, 2004.

ка древесины производится с помощью харвестера, оснащенного валочным пачковым устройством, которое разрезает деревья на бревна длиной 4–5 м для трелевки на верхний склад и возможной переработки на щепу (рис. 3.2). Заготовка балансов (для использования на предприятиях по производству целлюлозы, бумаги и плитных материалов) производится с применением обычного метода в форме сортиментов с обрезкой или без обрезки сучьев.

При заготовке целых тонкомерных деревьев не менее трети лесоматериала оставляют на лесосеке. Эта часть древесины должна по мере возможности состоять из вершин и ветвей. Обычно этот метод включает подсушивание топливной древесины на лесосеке. Также необходимо обеспечить максимально равномерное распределение оставленной в лесу биомассы по всей площади лесосеки.

3.3 Корчевание пней на лесосеках, пройденных рубками главного пользования

В настоящее время в Финляндии изучаются возможности заготовки пней в качестве топливной древесины. Пневая древесина имеет значительный энергетический потенциал. Корчевание пней производится в основном на участках рубок главного пользования с рыхлыми минеральными почвами с минимальным нарушением почвенного покрова. Около 3–5% пней и 10–25% корней оставляют в почве для перегнивания и использования почвенными организмами, а также придания пористости гумусному слою, обеспечивающему достаточное содержание кислорода в почве (рис. 3.3 и 3.4).



Рис. 3.3. При корчевании корней формируются участки для засева и посадки.



Рис. 3.4. Трелевка пней на верхний склад.

4 ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА ИЗ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ

В настоящей главе* описываются различные системы производства древесного топлива (щепы) из лесосечных отходов. Система производства щепы состоит из последовательности отдельных операций по переработке биомассы в коммерческое топливо и его транспортировки от места переработки до предприятия пользователя. Основными этапами процесса поставки щепы являются закупка, рубка, внедорожная транспортировка от пня к лесовозной дороге, измельчение, измерение, вторичная транспортировка от лесовозной дороги до предприятия, разгрузка и перемещение на предприятии. Система включает организацию, логистику и средства контроля производственного процесса.

Эффективность системы поставки в значительной мере зависит от условий среды и инфраструктуры, в которых она осуществляется, т.е. экономических, социальных, экологических, промышленных факторов, уровня образования, а также местных традиций. Следовательно, ни одна система производства не может являться оптимальной для всех стран или использоваться одинаково эффективно в любых условиях в одной стране.

Система производства лесного древесного топлива строится вокруг операции измельчения. Положение рубительной машины или дробилки в цепочке поставки в значительной мере определяет состояние биомассы во время транспортировки и, следовательно, степень зависимости друг от друга машин на дальнейших этапах, т.е. является цепочка «горячей» или «холодной». Операция измельчения может выполняться на лесосеке, у лесовозной дороги, на лесном складе или на предприятии конечного пользователя, где будет использоваться щепа. В настоящей главе рассматриваются все возможные варианты выполнения операции измельчения (см. раздел 4.4 и далее).

Для повышения производительности производства щепы может потребоваться внесение изменений в применяемые методы лесозаготовок и/или конструкцию машин. Эти изменения могут включать совершенствование методов окучивания лесосечных отходов, повышение производительности форвардера, изменение условий хранения лесосечных отходов или схемы расположения верхнего лесосклада. Эти меры рассматриваются далее в разделах 4.1–4.3.

4.1 Окучивание лесосечных отходов

При проведении рубки главного пользования на лесосеке оператор лесозаготовительной машины осуществляет валку деревьев на одной стороне или на обеих сторонах волока (лесосечного пути, просеки). Первичная обработка дерева, т.е. обрезка сучьев и раскряжевка, осуществляется перед лесозаготовительной машиной. При проведении лесозаготовок с использованием этого традиционного метода лесосечные отходы остаются на волоке и затем попадают под колеса движущейся лесозаготовительной машины. Далее по этому же пути передвигаются лесные тракторы и форвардеры, осуществляющие трелевку лесоматериалов, которые повторно сминают лесосечные отходы. Это затрудняет их последующую заготовку, ибо отходы к тому же могут содержать камни, частицы земли и гумуса.

Заготовку лесосечных отходов можно эффективно осуществлять при условии, что они уложены в достаточно большие кучи, размещенные в определенных границах вдоль волока и не смятые передвигающимися по лесосеке машинами. Таким образом, необходимо изменить методы лесозаготовительных работ так, чтобы укладка лесосечных отходов производилась вдоль одной стороны или обеих сторон пути передвижения лесозагото-

* По публикации Nakkila (2004); материалы дополнены данными, заимствованными из публикации BENET “Базовый пакет информации” (редакция 2002 г.) и учебного пособия Alakangas (1999).

вительных машин. С этой целью можно использовать так называемые односторонние или двусторонние методы лесозаготовки (рис. 4.1).

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

- валка и раскряжевка деревьев производятся только вдоль одной из сторон лесосечного пути (волока);
- товарные лесоматериалы укладывают в штабеля перпендикулярно или по диагонали к лесосечной дороге рядом с соседним лесосечным путем;
- лесосечные отходы укладывают между лесосечным путем и штабелями товарного лесоматериала, т.е. рядом с лесосечным путем.

При проведении работ с использованием метода двусторонней укладки лесосечных отходов:

- валка и обработка деревьев производятся вдоль обеих сторон лесосечного пути;
- площадь рабочего участка лесозаготовительной машины больше, чем площадь рабочего участка при производстве работ с использованием метода односторонней укладки;
- товарные лесоматериалы укладывают в штабеля перпендикулярно или по диагонали к лесосечной дороге, а лесосечные отходы размещают между штабелями товарных лесоматериалов.

Метод двусторонней укладки является более приемлемым для использования на тех лесосеках, где производится валка больших деревьев, т.е. во многих случаях при рубках главного пользования. Полевые испытания показывают, что после освоения предлагаемых методов заготовки леса оператором харвестера производительность валки поддерживается на требуемом уровне. Производительность трелевки сортиментов форвардерами несколько снижается из-за куч лесосечных отходов, расположенных вдоль волока. Снижение производительности является минимальным при малом числе выпиливаемых сортиментов.

При окучивании лесосечных отходов:

- выход лесосечных отходов выше, чем при использовании традиционных методов лесозаготовительных работ;
- достигается более высокая производительность при трелевке лесосечных отходов;
- лесосечные отходы чище и более высокого качества.

4.2 Трелевка (транспортировка) лесосечных отходов в лесу

Захват для погрузки лесоматериалов обычного типа, которым оборудован форвардер, непригоден для погрузки лесосечных отходов, так как он вместе с лесосечными отходами захватывает часть грунта. Также такой захват плохо проникает в материал кучи лесосечных отходов. Наилучшей моделью захвата для заготовки лесосечных отходов является так называемый пальцевый (рис. 4.2), который имеет следующие преимущества:

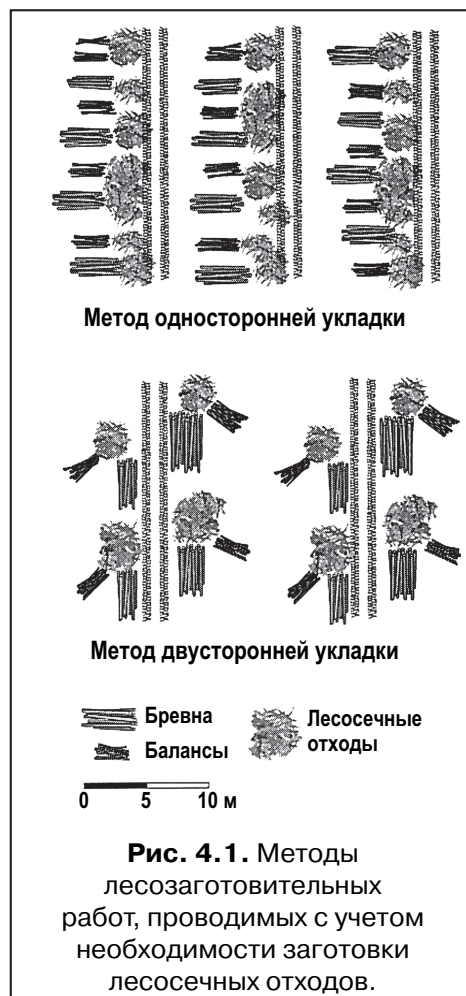


Рис. 4.1. Методы лесозаготовительных работ, проводимых с учетом необходимости заготовки лесосечных отходов.

4. ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА ИЗ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ

- пальцевый захват не подбирает примеси, как это делает традиционный захват для погрузки лесоматериалов;
- пальцевый захват лучше проникает в материал кучи лесосечных отходов, чем захват обычного типа;
- погрузка и разгрузка пальцевым захватом осуществляются быстрее по сравнению с захватом обычного типа;
- объем захватываемого материала почти на 45% превышает объем материала, подбираемого захватом обычного типа;
- груз имеет более компактные размеры при погрузке пальцевым захватом, имеющим большую грузоподъемность;
- производительность при трелевке возрастает на 15–25% в зависимости от расстояния трелевки.

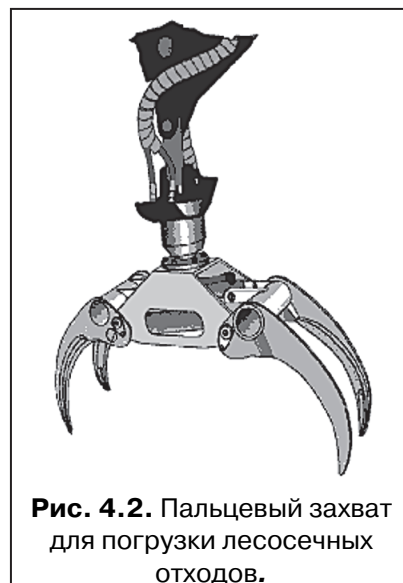


Рис. 4.2. Пальцевый захват для погрузки лесосечных отходов.

Из-за ограниченного грузового пространства в форвардере обычного типа производительность трелевки лесосечных отходов останется низкой, если не внести соответствующие изменения в его конструкцию (рис. 4.3). В форвардере имеется необходимое пространство для того, чтобы расширить грузовой отсек. Форвардер средних размеров со стандартным объемом грузового пространства может перевозить приблизительно 4–5 м³ лесосечных отходов. Расширив грузовое пространство в заднем направлении и установив дополнительные поддоны, можно увеличить объем перевозимого груза до 8–14 м³.

Таким же образом можно увеличить грузовое пространство лесовозных прицепов (тележек) обычного типа, буксируемых сельскохозяйственными тракторами. Лесовозный прицеп со стандартным объемом грузового пространства может перевозить 2,6–2,8 насыпных м³ лесосечных отходов; после увеличения грузового пространства и установки ограничительных стоек объем перевозимого груза может достигать до 12 насыпных м³.

Использование прицепа специальной конструкции с устройством уплотнения лесосечных отходов также может повысить производительность трелевки лесосечных отходов на лесных участках (раздел 4.6.2).

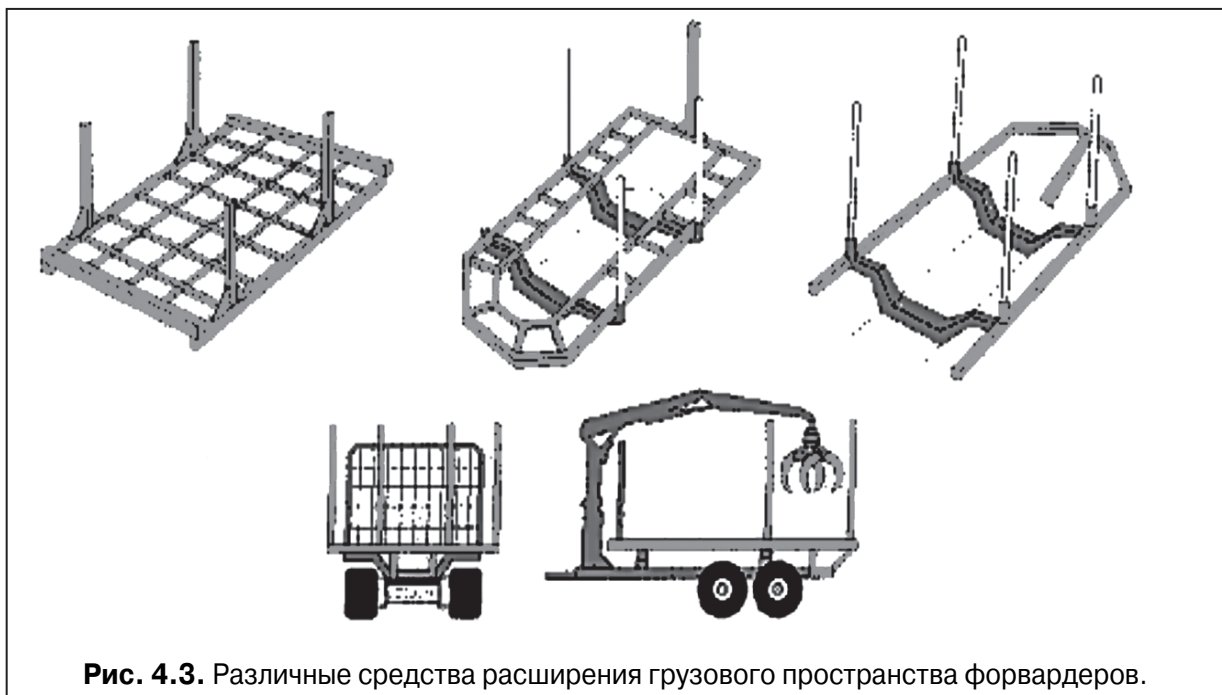


Рис. 4.3. Различные средства расширения грузового пространства форвардеров.

4.3 Хранение лесосечных отходов в лесу

В странах с холодным климатом, где топливная древесина пользуется наибольшим спросом в зимний период, когда объемы лесозаготовительных работ могут снижаться, необходимо обеспечить хранение значительного количества древесного топлива в течение различных периодов времени. Выбор места и метода хранения обычно определяется биологическими, экономическими и логистическими факторами. Для сохранения надлежащего качества древесного топлива важно, чтобы свежезаготовленные лесоматериалы помещались на хранение до этапов погрузочно-разгрузочных работ и использования.

В североевропейских странах для подсушивания лесосечных отходов и частей деревьев применяется метод испарительной сушки. Подсушивание осуществляется как в небольших кучах, оставляемых харвестером на лесосеке, так и в кучах больших размеров, уложенных в форме валков на верхнем складе. При этом влажность зеленой массы лесосечных отходов от свежесрубленных деревьев, составляющая 55–60%, снижается до 20–30%. Сильные осадки или низкие температуры могут снижать эффективность испарительной сушки. Если хранение лесосечных отходов в лесу продолжается до поздней осени или даже зимы, влажность, снизившаяся в процессе испарительной сушки, может снова повыситься в результате поглощения лесосечными отходами влаги из воздуха или осадков.

Подсушивание *небольших куч лесосечных отходов в лесу* происходит быстрее, чем подсушивание больших куч (однако они также быстрее поглощают влагу). Дополнительным преимуществом хранения лесосечных отходов в лесу в небольших кучах является то, что в этом случае листья остаются в лесу, что позволяет снизить потери питательных веществ на лесосеке и повысить качество топлива.

В североевропейских странах не распространено *хранение лесосечных отходов в валках больших размеров*. Такое хранение затрудняет опадание хвои на землю, что имеет ряд негативных последствий. Выход топлива, полученного из валков, размещенных на верхнем складе, может на 30% превышать выход топлива из небольших куч, уложенных на лесосеке, однако такое топливо имеет более высокую зольность.

Как правило, не осуществляется и хранение *щепы* в лесу, так как измельченный в щепу древесный материал теряет вес и подвержен грибковому гниению. Хранение щепы в лесу также осложняет проблема повышения температуры в кучах щепы.

В настоящее время все шире используется уплотнение лесосечных отходов с формированием *тюков или пакетов* перед транспортировкой. Этот метод значительно облегчает погрузочно-разгрузочные работы и транспортировку неизмельченного материала. Пакетирование не затрудняет подсушивания лесоматериалов, особенно если они хранятся под навесом. Наилучшие результаты достигаются при подсушивании лесосечных отходов в летний период перед пакетированием. При таком хранении лесосечных отходов воздействие микроорганизмов и потери сухого вещества значительно ниже, чем при хранении щепы.

4.3.1 Требования к условиям хранения на верхнем складе

В североевропейских странах лесосечные отходы обычно складываются на верхнем складе, расположенном у магистральной лесовозной дороги. Следует учитывать ряд требований, предъявляемых к верхнему лесоскладу, относящихся в основном к использованию крупногабаритной и тяжелой техники (рис. 4.4). Например, длина щеповоза превышает 20 м, а ширина составляет 2,6 м. Полный вес щеповоза с грузом составляет приблизительно 60 т. Длина рубительной машины на шасси грузового автомобиля составляет от 10 до 12 м, а вес — приблизительно 30 т. Как правило, верхний склад:

- должен быть тщательно спланирован с учетом так называемой «горячей цепочки» (например, цепочки рубильная машина – щеповоз, в которой простой одного из звеньев оказывает прямое воздействие на всю цепочку);
- должен быть достаточно большим, с ровной поверхностью, имеющей высокую несущую способность. Не допускается присутствие пней, больших камней



- или любых других предметов или объектов, которые могут затруднить передвижение техники;
- не должен быть расположен рядом с телефонными линиями или линиями электропередач;
- должен иметь площадь, достаточную для разезда и выполнения поворотов;
- должен иметь площадь, достаточную для размещения куч лесосечных отходов высотой и шириной 5 м из расчета 10 м на каждые 100 м³ лесосечных отходов.

4.3.2 Методы складирования на верхнем складе

Хранение лесосечных отходов на верхнем складе (в том числе в тюках) следует осуществлять с учетом следующих методов складирования:

- Ширина площадки склада должна быть достаточной для проезда рубильной машины и 1–2 грузовых автомобилей.
- Складирование лесосечных отходов осуществляется таким образом, чтобы предотвратить попадание дождя (или снега в зимнее время) на складированные кучи. Высокая узкая куча является наиболее приемлемой формой при складировании лесосечных отходов. Топливную древесину можно покрывать пропитанной бумагой или другими защитными материалами, позволяющими контролировать уровень влажности древесного материала. В Швеции распространено использование битуминированной бурой бумаги в качестве защитного покрытия куч лесосечных отходов.
- При формировании кучи лесосечных отходов в основание кучи на землю укладывают крест-накрест несколько пучков деревьев или их вершин для защиты нижнего слоя лесосечных отходов от загрязнения грунтом или примерзания к грунту в зимнее время. Эти пучки также позволяют оператору рубильной машины определить, где находится основание кучи лесосечных отходов. Лесосечные отходы укладываются

в кучи таким образом, чтобы торцы деревьев были обращены в сторону дороги. Не рекомендуется располагать кучи в поперечном направлении, так как лесосечные отходы, уложенные последними, должны быть разгружены первыми.

- Кучи лесосечных отходов должны иметь максимально возможные размеры. Кучи небольших размеров быстро поглощают влагу при длительных периодах хранения.
- Тюки лесосечных отходов складироваться в кучах высотой приблизительно 3 м таким образом, чтобы предотвратить скатывание тюков с куч и нанесение травм людям (прохожим, туристам). При необходимости на участках складирования куч устанавливаются предупредительные знаки (об опасности обвала).
- Топливная древесина (любого вида) складировается на достаточно близком расстоянии от рубительной машины, не более 6–7 м от грузового автомобиля или работающей машины, но не слишком близко к дороге.
- После отгрузки в канавах, примыкающих к площадке складирования, не должны оставаться лесосечные отходы, хвоя или другие остатки топливной древесины, чтобы предотвратить вынос в водоемы питательных веществ, выделяющихся при разложении древесины.
- Не подлежащие хранению маломерные деревья следует удалить с территории лесосклада с тем, чтобы предотвратить попадание в рубительные машины частей корней деревьев, которые замедляют процесс переработки древесины в щепу.
- Необходимо обеспечить возможность одновременного проезда по подъездной дороге, ведущей к лесоскладу, щеповоза с прицепом и рубительной машины. Общая длина участка, требуемого для проезда комбинации щеповоза и рубительной машины, составляет 50 м.
- Необходимо проверить участки поворотов/разворотов и разъездов.

4.4 Измельчение лесосечных отходов на верхнем складе

Измельчение на верхнем складе является традиционным методом производства лесной щепы. Форвардеры транспортируют биомассу на территорию склада и укладывают в кучи высотой от 4 до 5 м. Форвардер работает независимо от рубительной машины. Измельчение осуществляется на территории склада с помощью: рубительной машины с приводом от сельскохозяйственного трактора при измельчении малых объе-



мов древесины; тяжелой рубительной машины, монтируемой на грузовом автомобиле, или дробилки при измельчении больших объемов древесины (рис. 4.5).

После измельчения щепы от рубительной машины подается потоком воздуха непосредственно в прицеп и кузов щеповоза объемом 100–130 м³. Щеповозы обычно оборудуются подкузовным транспорте-

4. ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА ИЗ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ

ром или самосвальным бункером с боковой разгрузкой. Вес без груза щеповоза обычного типа составляет приблизительно 23 т, что позволяет транспортировать груз щепы весом 37 т (максимально допустимая нагрузка на мост может составлять, как, например, в Финляндии, 60 т). При транспортировке щепы с очень высоким содержанием влаги возможна перегрузка щеповоза, в то время как при транспортировке сухой щепы вес щеповоза с грузом значительно ниже максимально допустимого полного веса.

Наличие прямой связи между операцией измельчения и транспортировкой образует «горячую цепочку» и повышает уязвимость системы, т.е. зависимость машин друг от друга. Значительную часть рабочего времени рубительной машины или щеповоза может составлять время ожидания, что снижает производительность производственного процесса. Наиболее сложной задачей в этом процессе является обеспечение четкой координации этапов измельчения и транспортировки. Оптимизация на основе логистики использования рубительной машины и щеповозов оказывает значительное воздействие на экономическую эффективность производственного процесса. В случае, если рубительная машина и щеповоз принадлежат различным подрядчикам, оптимизация является более сложной задачей.

Другая проблема заключается в том, что требуется большая площадь складирования, чем при использовании других систем хранения, из-за больших запасов складированных лесоматериалов и одновременного присутствия на территории лесосклада рубительной машины и щеповоза.

Так как применяемые на верхнем складе рубительные машины не эксплуатируются вне дороги, они имеют более тяжелый вес, более прочную конструкцию и более высокую производительность, чем внедорожные (передвижные) рубительные машины. Такие машины характеризуются высокой эксплуатационной надежностью и оперативной готовностью и имеют длительный срок службы. Эти машины должны иметь высокую производительность. Для предотвращения пиковых нагрузок на оборудование, возникающих при резких колебаниях скорости подачи древесного материала, рубительная машина должна быть оснащена длинным питающим (приемным) столом, обеспечивающим равномерную подачу сырья. Барабанные рубительные машины наиболее пригодны для производства щепы из лесосечных отходов. Они производят щепу более однородного качества (содержащую меньше щепок), чем дисковые рубительные машины, и менее чувствительны к примесям. В случае загрязнения биомассы пней или корневой древесиной, камнями или почвой возможно использование дробилок, которые менее чувствительны к примесям, чем рубительные машины.

Производительность получения щепы на верхнем складе зависит от характеристик сырья, условий работы и складирования, а также рабочих характеристик рубительной машины. В среднем она составляет от 40 до 80 насыпных м³ щепы за эффективный рабочий час. Как правило, зеленая щепка перерабатывается быстрее, чем сухая. Следует проявлять исключительную осторожность при переработке нижних слоев лесосечных отходов. Повреждение ножей рубительного органа содержащимися в них примесями может вызвать значительные дополнительные издержки.

С целью устранения «горячих» звеньев в производственной цепочке вместо отдельной рубительной машины, смонтированной на грузовом автомобиле, и щеповоза можно использовать щеповоз, оснащенный рубительной машиной (рис. 4.6). Она подает щепу в контейнер потоком воздуха, после чего щеповоз доставляет ее на предприятие заказчика. Конструкция щеповоза с рубительной машиной, включающая собственный манипулятор, снижает грузоподъемность щеповоза и радиус



Рис. 4.6. Щеповоз с рубительной машиной.

действия машины. С другой стороны, работы выполняются одной установкой, которая может использоваться для измельчения древесины на небольших лесосеках и доставки щепы на теплотехнические установки малой мощности.

4.5 Измельчение лесосечных отходов на лесосеке

Измельчение древесины на лесосеке или на участке валки требует применения высококомбинированной рубительной машины, пригодной для производства работ на пересеченной местности, и оснащено опрокидывающим контейнером для щепы объемом 15–20 м³. Рубительные машины, предназначенные для производства работ на лесосеке, обычно монтируются на шасси форвардера. Рубительная машина перемещается по лесосеке по волокам, подавая биомассу с помощью манипулятора с захватом на питатель рубительного органа. Переработанная древесина транспортируется к лесовозной дороге и перегружается из опрокидывающегося контейнера в контейнер щеповоза, который может находиться на земле или на автоприцепе (рис. 4.7).

Так как измельчение биомассы и внедорожная транспортировка щепы выполняются одной машиной, снижаются затраты на перемещение машин и становится экономически целесообразной разработка лесосек меньшей площади. Перемещение передвижной рубительной машины с одной лесосеки на другую может осуществляться на низком автоприцепе, а при малых расстояниях между лесосеками — самостоятельно по лесным дорогам. Использование контейнеров позволяет снизить, но не устраняет полностью взаимозависимость между рубительной машиной и щеповозом, и это звено в производственной цепочке остается достаточно «горячим». Размещение автомобильных грузовых контейнеров не требует большой площади, но площадка, предназначенная для их установки, должна иметь ровную и твердую поверхность.

Передвижные рубительные машины, используемые на лесосеке, должны быть максимально легкими, хотя легкость конструкции снижает их прочность и устойчивость. Однако в любом случае передвижные рубительные машины являются слишком тяжелыми для выполнения работ на мягких почвах, а использование дробильного оборудования на лесосеке вообще исключается. Для передвижной рубительной машины требуется плоская ровная поверхность, а малые размеры обрабатываемого материала и низкая скорость передвижения ограничивают радиус действия машины 300–400 м. Выпадение снега в зимний период может осложнять производство работ и повышать влажность щепы, если передвижная рубительная машина не размещается на лесном складе.

Дальняя транспортировка щепы в сменных контейнерах позволяет избежать образования «горячей цепочки», если имеется достаточное количество сменных контейнеров. Как правило, щеповозы транспортиру-



4. ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА ИЗ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ

ют контейнеры объемом от 30 до 50 насыпных м³, при этом возможна одновременная транспортировка 2–3 контейнеров, что увеличивает общий объем груза до 80–100 м³.

Экономическая конкурентоспособность передвижной рубительной машины существенно снижается при больших расстояниях транспортировки щепы. При образовании больших объемов лесосечных отходов управление системой производства щепы с помощью рубительной машины становится более сложным.

4.6 Измельчение лесосечных отходов на предприятии конечного пользования

Третьим вариантом переработки лесосечных отходов является производство щепы рубительной машиной или дробилкой на объекте конечного пользования. В этом производственном процессе отсутствует зависимость между операцией измельчения и транспортировкой щепы, что позволяет полностью исключить проблемы, которые могут возникать в «горячей цепочке». Повышается техническая и оперативная готовность оборудования, что повышает производительность и снижает издержки. Повышается эффективность контроля производственного процесса, снижается потребность в рабочей силе, повышается уровень контроля качества топлива. Передвижные рубительные машины можно заменить мощными стационарными дробилками, способными измельчать все виды биомассы, включая пневую и корневую древесину, а также утилизированную древесину.

В условиях Финляндии измельчение лесосечных отходов на объекте конечного пользования является наиболее экономически эффективным методом производства щепы при больших объемах переработки (приобрести стационарную дробилку может только крупное предприятие) и при условии, что расстояние транспортировки не превышает 55 км. Чем больше объемы производства топлива, тем очевидней преимущества этой схемы. Требования к производственному процессу включают установку крана большой грузоподъемности и наличие достаточно больших площадей для переработки и хранения щепы. Пыль и шум могут представлять проблемы, требующие принятия соответствующих мер.

Наиболее проблемным этапом этой схемы является дальняя транспортировка лесосечных отходов. Традиционно транспортировка биомассы на автотранспорте осуществляется в виде насыпных лесосечных отходов, целых деревьев, пневой или корневой древесины. *Основным фактором, снижающим эффективность процесса транспортировки, является низкая объемная плотность биомассы. Без уплотнения биомассы рейсовая нагрузка лесовоза остается очень низкой.*

Традиционными методами увеличения рейсовой нагрузки лесовоза, являются уплотнение груза и/или расширение грузового пространства. Новым решением является пакетирование лесосечных отходов



в тюки из смешанных лесосечных отходов. Пакетирование выполняется на лесосеке перед отгрузкой. Оба метода описываются ниже.

4.6.1 Измельчение сыпучих лесосечных отходов

Основные этапы процесса переработки лесосечных отходов на объекте конечного пользования представлены на рис. 4.8.

При дальнейшей транспортировке лесосечных отходов к автотранспортному оборудованию предъявляются следующие требования.

- Грузовое пространство лесовоза должно иметь максимально допустимые размеры.
- Стороны и дно грузового пространства должны быть закрытыми.
- Лесовозы должны быть оснащены специальными манипуляторами, предназначенными для погрузки и разгрузки лесосечных отходов, а также уплотнения груза.
- Погрузка более эффективно производится с помощью специальных захватов для лесосечных отходов, чем захватов обычного типа.

Плотность транспортируемых лесосечных отходов может быть повышена с помощью гидравлических уплотнительных цилиндров и фиксирующих брусьев. Недостатками этого метода являются дополнительные издержки и достаточно сложный состав оборудования. Типичный автопоезд, осуществляющий транспортировку лесосечных отходов, показан на рис. 4.9.



Рис. 4.9. Автопоезд для перевозки лесосечных отходов.

4.6.2 Измельчение пакетированных лесосечных отходов

Пакетирование лесосечных отходов является одним из методов уплотнения сырья с целью повышения производительности дальнейшей транспортировки. На основе разработанной ранее в Швеции модели «Файберпак» (Fiberpac) компания «Тимберджэк» (Timberjack), переименованная недавно в «Джон Дир» (John Deere), разработала технологию пакетирования лесосечных отходов, реализованную в конструкции пакетизирующей машины 1490D (рис. 4.10).

Пакетирующая машина уплотняет и формирует тюки или «бревна» из смешанных лесосечных отходов диаметром 0,7 м и длиной 3 м. Тюк зеленых лесосечных отходов весит 500–550 кг, содержание энергии в тюке составляет 1 МВт·ч. Затем тюки из лесосечных отходов транспортируются на верхний склад форвардером обычного типа (рис. 4.11), где они хранятся от одного до трех месяцев для подсушивания (рис. 4.12).



Рис. 4.10. Машина для пакетирования лесосечных отходов «Тимберджэк 1490D».

Далее тюки на лесовозе обычного типа (рис. 4.13) доставляют на установку комбинированного производства тепловой и электрической энергии. Около 12 тюков обеспечивают загрузку одного форвардера и 65 тюков весом около 30 т составляют грузовые

4. ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА ИЗ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ

стимость авто-прицепа. Тюки из лесосечных отходов также могут транспортироваться вместе с товарной древесиной, например балансами. В Финляндии на некоторые предприятия лесосечные отходы доставляются железнодорожным транспортом (рис. 4.14).

Выгрузка тюков из лесосечных отходов производится на объекте конечного пользования с применением оборудования, используемого для разгрузки балансовой древесины. Наиболее эффективным методом является выгрузка тюков из лесосечных отходов непосредственно из лесовоза на стол подачи сырья дробильной машины (рис. 4.15). Производственная цепочка по переработке пакетированных лесосечных отходов показана на рис. 4.16.

Преимущества использования тюков лесосечных отходов при крупномасштабном производстве древесного топлива становятся очевидными не только при калькуляции издержек на различных этапах производственной цепочки по переработке лесосечных отходов, но также и при анализе схем логистики, оперативной готовности, контроля производственного процесса, на-



Рис. 4.11. Погрузка пакетированных БЛС на форвардер.



Рис. 4.12. Хранение пакетированных БЛС.



Рис. 4.13. Транспортировка пакетированных БЛС на лесовозе.



Рис. 4.14. Транспортировка пакетированных БЛС на железнодорожном транспорте.



Рис. 4.15. Измельчение тюков.

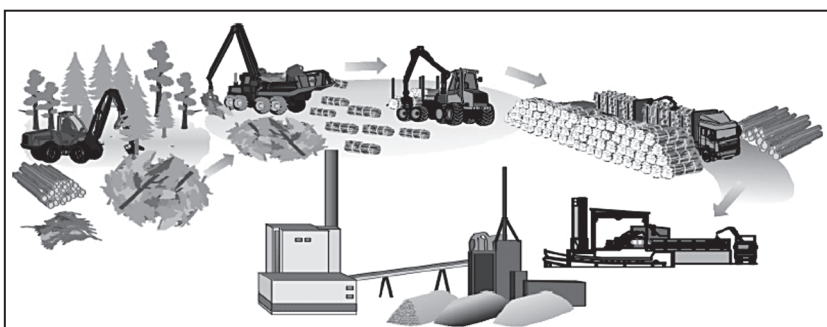


Рис. 4.16. Производственная цепочка с использованием «бревен» из смешанных лесосечных отходов.

дежности, требуемых площадей и степени воздействия на окружающую среду:

- Машины работают независимо друг от друга.
- Гибкая интеграция в процесс поставки и использования промышленной древесины.
- Точная информация в реальном масштабе времени о состоянии запасов.
- Более низкий уровень шума, меньшие запыленность и количество мусора.
- Меньшие размеры производственных площадей, простые методы хранения.
- Более низкие транспортные и непроизводственные издержки.
- Более эффективный контроль и высокая надежность поставок топливной древесины.
- Оценка преимуществ должна осуществляться с учетом дополнительных затрат на пакетирование.

В Финляндии система, основанная на использовании тюков лесосечных отходов и их переработке на предприятии, приобрела популярность за короткое время. Организации, ответственные за поставку сырья на предприятия лесной промышленности, рассматривают технологию пакетирования в качестве эффективного средства интеграции производства топлива в свою деятельность. В ряде стран, включая Австрию, Францию, Германию, Италию, Испанию, Швейцарию, Швецию, Португалию, США, Венгрию и Чешскую Республику, были проведены испытания пакетировочной машины «Тимберджек», и в некоторых из них уже осуществляется ее коммерческая эксплуатация.

Транспортировка насыпью по-прежнему может являться экономически целесообразным методом при перемещении лесосечных отходов на короткие расстояния.

4.7 Измельчение лесосечных отходов на нижнем складе

Измельчение биомассы на нижнем складе представляет собой компромисс между измельчением на верхнем лесном складе и измельчением на объекте конечного пользования. Неизмельченную биомассу доставляют на нижний склад для измельчения и затем транспортируют на предприятие в виде щепы.

При наличии достаточно густой сети нижних складов расстояние между лесосекой и нижним складом остается коротким. Эта схема не отличается значительно от традиционного варианта измельчения лесосечных отходов на верхнем лесном складе.

Финская компания «Вапо Ой» (Varo Oy) разработала технологическую схему, предусматривающую использование прицепа, буксируемого сельскохозяйственным трактором, сначала для внедорожной транспортировки биомассы с лесосеки к лесовозной дороге и последующей транспортировки по лесовозной дороге на расстояние 10 км до нижнего склада. Грузовместимость прицепа может быть увеличена посредством расширения грузового пространства прицепа, борта которого могут сдвигаться. Прицеп, буксируемый сельскохозяйственным трактором мощностью не менее 140 л.с., предназначен для транспортировки на значительные расстояния лесосечных отходов с лесосеки на верхний или нижний склады. Размеры прицепа позволяют осуществлять его буксировку по дорогам общего пользования (рис. 4.17). Однако эта схема не получила распространения в Финляндии из-за недостаточной гибкости.

Если производитель топлива имеет небольшое число складов, расположенных на большом расстоянии от источника биомассы, транспортировка биомассы форвардером в



Рис. 4.17. Форвардер-грузоуплотнитель «ХавуХукка» (Harvuhukka), предназначенный для транспортировки лесосечных отходов.

лесу и затем транспортировка лесовозом по магистральной дороге являются отдельными операциями. В этом случае нижний склад имеет большие размеры и технологическая схема не отличается в значительной степени от схемы, используемой на предприятии. Нижний склад может иметь мощеную площадку, и для измельчения биомассы может использоваться дробилка.

Нижний склад является *инструментом контроля процесса поставки*. Неизмельченная биомасса может храниться на нижнем складе и перерабатываться в зимний период, когда повышается спрос на древесное топливо и условия работы в лесу становятся более сложными. Технологический процесс может включать применение технологии тюковки при поставках щепы на предприятия, не имеющие стационарных дробилок.

4.8 Сравнение технологических схем производства щепы

В Финляндии все более широкое распространение получает использование централизованной системы измельчения лесосечных отходов при крупномасштабном производстве щепы, позволяющей более эффективно осуществлять контроль производственного процесса. Однако большая часть щепы по-прежнему производится на верхних складах. Менее распространено производство щепы на лесосеках и верхних складах. В публикации «Laitila» (2005) дается краткое сравнение технологических схем производства щепы.

- **«Холодная» и «горячая» цепочки.** При производстве щепы на верхнем складе существует зависимость между работой рубительной машины и щеповоза («горячая цепочка»), которая может приводить к их простоям, снижая степень использования производственных мощностей и повышая издержки при производстве щепы. При производстве щепы на объекте конечного пользования рубительная машина и лесовоз действуют независимо друг от друга («холодная цепочка»), что позволяет повысить коэффициент использования производственных мощностей и уменьшить издержки, связанные с производством щепы.
- **Объем груза при транспортировке.** Слабым звеном схемы производства щепы на объекте конечного пользования является транспортировка имеющих низкую объемную плотность и занимающих большой объем грузового пространства необработанных лесоматериалов. Новые технологии (например, пакетирование лесосечных отходов или очистка от сучьев тонкомерных деревьев) позволяют увеличить объемную плотность и снизить транспортные издержки.
- **Затраты на инвестиции.** Оборудование, применяемое в системе централизованного производства щепы, имеет высокую стоимость, поэтому технологическая схема производства щепы на объекте конечного пользования приемлема только для крупных предприятий. Малые предприятия могут использовать схему производства щепы на верхнем складе.

5 ЗАГОТОВКА ТОНКОМЕРНЫХ ДЕРЕВЬЕВ

Уход за молодняком и рубки прореживания необходимы для дальнейшего выращивания леса высокого качества, однако из-за значительных затрат или отсутствия соответствующих методов лесозаготовок эти работы не всегда выполняются. Высокие затраты на эти операции определяются следующими факторами: большими затратами на валку и пакетирование тонкомерного леса (15–45 дм³), низкой концентрацией топливной древесины на гектар и значительным числом деревьев, остающихся в древостое, ограничивающих производительность работ. Другие факторы могут включать низкий спрос на тонкомерную древесину и сложный рельеф местности.

Несмотря на это в последние годы в Швеции и Финляндии возрос интерес к этим видам работ, в особенности к проведению первых рубок прореживания густого тонкомерного древостоя со смешанным составом древесных пород. Причины возросшего интереса к этим работам включают: ежегодное наличие тонкомерной топливной древесины, заготовка которой осуществляется независимо от заготовки круглой деловой древесины; значительный потенциал использования молодых древостоев в качестве источника топливной древесины (составляющих в недостаточной степени используемые ресурсы энергии из лесной древесины); значительное увеличение объема невыполненных предпромышленных рубок прореживания; существенные выгоды от проведения рубок прореживания молодых древостоев.

В период, когда несколько снижается рентабельность лесозаготовок, заготовка топливной древесины может использоваться для субсидирования издержек, связанных с выполнением лесохозяйственных работ. Увеличилось число установок, использующих древесное топливо, и был разработан ряд новых технологий заготовки тонкомерных деревьев для производства биоэнергии. Новые комплексные методы заготовки и использования биомассы из тонкомерных деревьев включают использование валочно-пакетирующих машин с пачковым устройством, валочных машин-форвардеров и





однозахватных харвестеров, способных осуществлять одновременную обработку нескольких стволов. Так как вершины и ветви составляют значительную часть биомассы, заготовка тонкомерных деревьев не только является более экономически эффективной, но и позволяет заготовить большие объемы древесного топлива.

5.1 Характеристики систем заготовки

Выбор системы заготовки тонкомерной топливной древесины зависит от условий лесозаготовок, включая масштабы производства работ. В различных странах применяются различные методы заготовок тонкомерной древесины. В публикации Richardson *et al* (2002) дается краткий обзор известных технологий крупномасштабных заготовок. Большое число промышленных методов свидетельствует о том, что разработка этой технологии все еще находится в начальной стадии.

Мелкомасштабные лесозаготовительные операции, которые более пригодны для использования частными владельцами/подрядчиками, чем подрядными компаниями, могут внести значительный вклад в поставки топлива на местном уровне. В настоящей главе рассматриваются некоторые аспекты методов заготовки малых объемов древесины.

На рис. 5.1 и рис. 5.2 представлены примеры типичных производственных цепочек по производству топлива из тонкомерной древесины, применяемых в Финляндии.

Независимо от масштаба производства работ (мелкомасштабных или в промышленных масштабах) при использовании любых технологий заготовок маломерных топливных лесоматериалов следует учитывать следующие основные аспекты лесозаготовительных работ.

- Не рекомендуется производить заготовку всего имеющегося объема биомассы (листвы, хвои, ветвей).
- В первую очередь следует удалять низкокачественные деревья и деревья, оказывающие вредное воздействие на растущий древостой, на открытых участках также можно оставлять стволы, древесина которых имеет низкое качество.
- Целесообразно применение надлежащих методов лесопользования, включая методы, обеспечивающие биоразнообразие.
- В древостое следует оставлять так называемые деревья редких пород.

- Следует минимизировать ущерб, наносимый древостою.
- В древостое следует оставлять часть сухостойных деревьев.
- Рекомендуются развивать смешанные древостои, содержащие хвойные и листопадные деревья.

5.2 Ручные валка и штабелевка

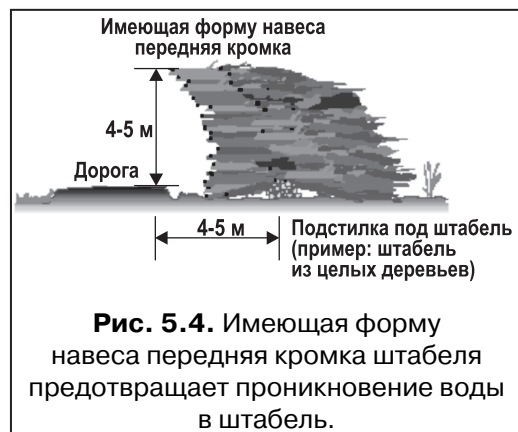
Ручная заготовка топливной древесины с использованием цепной бензопилы по-прежнему остается наиболее распространенным методом заготовки тонкомерных деревьев. Наиболее дорогостоящей и трудоемкой фазой в процессе ручной заготовки, в особенности при подготовке к поставке неочищенных от сучьев тонкомерных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

Валочная рама с ручками повышает уровень эргономики и производительность при ручной заготовке тонкомерных деревьев (рис. 5.3). Повышается безопасность работ, оператор бензопилы может производить валку деревьев, не нагибаясь. Валочная рама может устанавливаться на цепные бензопилы всех типов. Как правило, производительность валочно-штабелевочного метода составляет от 2 до 4 м³ древесины за час эффективного времени работы. Основным фактором, оказывающим воздействие на производительность, являются размеры заготавливаемых деревьев.

Валку деревьев следует производить в конце осени или весной. Так как топливная древесина остается в лесу до конца лета, следует эффективно использовать процесс естественной сушки древесины. Под штабель следует подложить древесную подстилку необходимой длины. Территория верхнего лесосклада не должна содержать предметов, затрудняющих транспортировку леса. Наилучшим местом размещения верхнего лесосклада является расположенный выше уровня окружающей местности хорошо проветриваемый участок с твердой и ровной поверхностью. Территория склада должна иметь достаточно большую площадь для того, чтобы по нему могли свободно перемещаться машины и транспортные средства.



Рис. 5.3. Бензопила, оборудованная валочной рамой с ручками, повышает уровень эргономики и улучшает условия труда при валке и пакетировании тонкомерных деревьев.



Бесснежная зима создает оптимальные условия для транспортировки и штабелевки топливной древесины. Как и на этапе проведения лесосечных работ, штабель рекомендуется укладывать на древесную подстилку. Если предусматривается переработка деревьев из штабеля в древесную щепу, то их следует укладывать так, чтобы обработанные концы были обращены в сторону дороги. Рекомендуется укладывать деревья в высокий штабель с тем, чтобы максимально уменьшить площадь увлажнения древесины в случае дождя. Укладка штабеля ведется

таким образом, чтобы его передний край имел форму навеса (рис. 5.4), что предотвращает порчу водой всего штабеля. При штабелевке лесоматериалов следует следить за тем, чтобы в штабель не попадали камни, куски гумуса или части корней, которые могут вызвать повреждение ножей рубительной машины.

5.3 Лесозаготовительные работы и производство щепы

С целью оказания помощи владельцам лесных участков, осуществляющим лесозаготовительные работы своими силами, в Финляндии были разработаны и испытаны в полевых условиях машины, предназначенные для валки и пакетирования тонкомерных деревьев. Некоторые модели лесозаготовительных машин также оборудуются дополнительными захватными устройствами, позволяющими эффективно осуществлять одновременную обработку нескольких деревьев. Одна из новых разработок предусматривает расширение грузового пространства прицепа, буксируемого сельскохозяйственным трактором, увеличивающего объем транспортируемых прицепом лесоматериалов. Производительность трелевки можно еще более повысить с помощью устройств уплотнения груза.

Рубительные машины, монтируемые на сельскохозяйственные тракторы, которые могут использоваться владельцами лесных участков для измельчения тонкомерных деревьев, могут быть легкими и бункерными. Легкие рубительные машины могут использоваться при малых объемах производства щепы. Они состоят из поворотной пневматической трубы и регулируемого желоба, с помощью которых обеспечивается точная подача щепы в прицеп. Бункерные рубительные машины оснащены контейнером для щепы объемом 2 м³. В рубительную машину подаются очищенные от сучьев длинномерные хлысты или целые деревья. После заполнения контейнер может быть опорожнен подачей щепы через рубительную машину потоком воздуха.

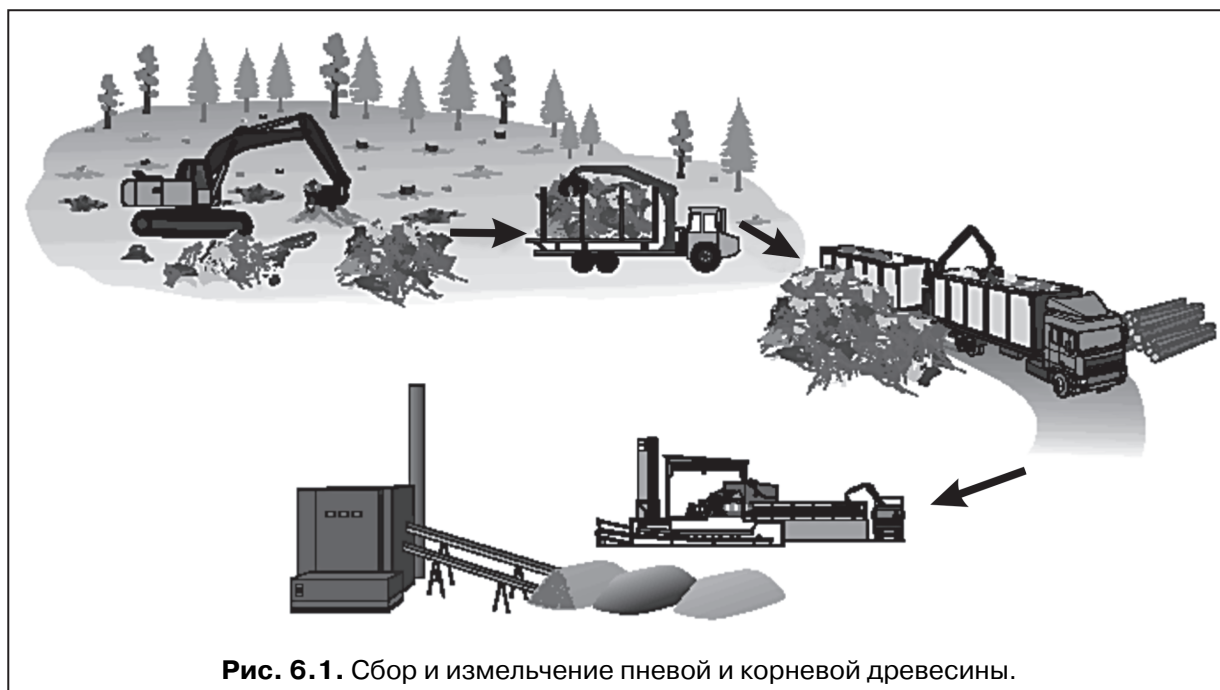
6 ЗАГОТОВКА ПНЕЙ И КОРНЕЙ

Заготовка пней в Финляндии осуществляется в течение нескольких лет. За этот период были разработаны методические рекомендации по корчеванию пней. «ЮПМ Киммене Форест» (UPM Kymmene Forest), крупная компания, специализирующаяся на заготовке древесного топлива, имеет обширный опыт производства работ по заготовке пней.

Корчевание пней осуществляется в основном на участках рубок главного пользования с рыхлыми минеральными почвами. По экологическим причинам 5% пней и до 25% всех корней должны быть оставлены в лесу. Кроме того, заготовка пней не производится в пятиметровой зоне, примыкающей к экологически значимым участкам (например, водоудерживающих насаждений деревьев). Также запрещается заготовка корней в трехметровой зоне по обеим сторонам рвов естественного или искусственного происхождения. На рис. 6.1 показана схема заготовки и измельчения пневой и корневой древесины.

При заготовке пней необходимо обеспечить максимальную защиту растительного покрова. Необходимо минимизировать нарушения почвенного слоя, так как органические вещества связывают высвобождающиеся питательные вещества и металлы. В принципе основная задача, как и при обычной подготовке почвы, состоит в том, чтобы обеспечить минимальное нарушение гумусного слоя. При корчевании пня находящийся на нем грунт стряхивается в месте, откуда был извлечен корень. Наиболее экономически эффективным методом заготовки пней является совмещение корчевки пней с подготовкой почвы (для посадки деревьев). При корчевке пней одновременно осуществляется подготовка достаточно большого числа (1800–2200) посадочных участков для высадки саженцев. Применяются как стандартные методы подготовки почвы и посадки, так и методы, разработанные с учетом конкретных условий на участке корчевания пней. Удаление пней значительно улучшает условия механической посадки.

Применение этой технологии (совмещение операций по заготовке пней и подготовке почвы) позволяет минимизировать предельные издержки при заготовке пней и, соответственно, затраты владельцев лесных участков, которые проявляют значительный интерес к этому методу заготовки пней лесохозяйственными компаниями.



7 ЛОГИСТИКА ПРОИЗВОДСТВА ЛЕСНОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

В этой главе* описывается логистика (планирование, организация и материально-техническое снабжение) производственного процесса, т.е. *управление движением потока древесного топлива от пня до объекта конечного пользования*. Логистика производства направлена на повышение более оперативной, чем техническая, готовности оборудования, используемого в системе поставки древесного топлива.

Основные элементы логистики процесса производства лесного древесного топлива включают:

- управление процессом транспортировки;
- хранение буферных и резервных запасов;
- приемка и погрузочно-разгрузочные операции.

7.1 Факторы, учитываемые при разработке логистики

Большая часть издержек по поставке лесного древесного топлива относится к транспортировке в лесу и по лесовозной дороге. Поэтому главной задачей при разработке схем логистики является обеспечение управления процессом транспортировки. Преобразование биомассы в форму груза, пригодного для транспортировки, с помощью рубительной машины, дробилки или пакетирующей машины также является одним из основных элементов системы логистики, так как щепа перегружается из рубительной машины непосредственно на лесовоз или в контейнер. Зависимость между рубительной машиной и лесовозом является ахиллесовой пятой традиционной технологии. По ряду причин организация крупномасштабного производства лесной древесной щепы представляет собой весьма сложную задачу с точки зрения логистики. Главные из них:

- Отгрузка биомассы осуществляется из *большого числа лесосек*. Условия заготовки и хранения древесины на верхнем складе обычно определяются требованиями, предъявляемыми к заготовке деловой древесины, так как биомасса является только низкосортным побочным продуктом промышленных лесозаготовительных операций.
- *Малые размеры лесосек* и низкий выход древесины с лесосеки. Это означает необходимость частого перемещения машин с лесосеки на лесосеку и направления подрядчиков на новые лесосеки, а также является причиной недостаточного использования грузовой потенциала лесовозного автотранспорта.
- *Территориальная разбросанность лесосек*. Из-за того, что транспортировка до предприятий заказчиков осуществляется на различные расстояния, постоянно изменяется соотношение показателей производительности выполнения последующих операций производственного процесса. Необходимо также уделить надлежащее внимание таким вопросам, как концентрация лесосек и составление графика движения автотранспорта.
- *Изменение свойств биомассы*. Сырьевая база включает тонкомерные деревья, лесосечные отходы, пни и корни. Каждый источник биомассы может требовать применения специализированных машин, а топливо, получаемое при их переработке, может иметь различные свойства. Необходимо обеспечить однородность свойств полученной щепы.
- *Изменение характеристик качества*. Качество измельченного древесного топлива резко ухудшается во время хранения, в то время как подсушивание и очистка уложенной в кучи неизмельченной пневой и корневой древесины повышает ее качество. Вид и продолжительность хранения должны обеспечивать надлежащее качество щепы.

* По публикации Hakila (2004).

- *Малые объемы запасов.* В связи с возможностью ухудшения характеристик качества осуществляется хранение малых объемов буферных (межоперационных) запасов щепы. Биомасса, предназначенная для использования зимой в период максимального спроса, хранится на верхнем или нижнем складе в неизмельченном виде.
- *Смешение различных видов топлива.* Щепа редко поставляется в объемах, полностью удовлетворяющих потребности в топливе крупных предприятий. В этом случае может производиться совместное сжигание щепы, например с корой, опилками или торфом. Следует использовать имеющее постоянный состав смешанное топливо с тем, чтобы обеспечить эффективное использование оборудования, полноту сгорания топлива и контроль за выбросами. Также необходимо составить соответствующий график прибытия грузовых автомобилей с топливом.

Реализация преимуществ эффекта масштаба производства представляет собой весьма сложную задачу. Интеграция процесса производства лесного древесного топлива в деятельность организаций, осуществляющих поставки древесины, создает благоприятные возможности для осуществления закупок биомассы, использования информационных систем, получения информации о местных условиях, применения имеющегося оборудования для выполнения требуемых работ и осуществления контроля за производством работ.

С целью снижения издержек, связанных с поставкой древесного топлива, в настоящее время в Финляндии выполняются исследования, направленные на повышение эффективности разработки и оптимизацию схем логистики. Получены следующие представляющие интерес результаты.

- Перенос операции измельчения на объект конечного пользования или нижний склад является эффективной мерой, позволяющей повысить надежность системы поставки. Использование тюков лесосечных отходов позволяет оптимизировать логистику производственного процесса, снизить его уязвимость, устранить простои оборудования, повысить эффективность хранения древесины в зимний период и облегчить осуществление контроля за всеми этапами производственного процесса. Технология пакетирования лесосечных отходов может эффективно использоваться только при крупномасштабном производстве, при этом необходимым условием является наличие дробилки на объекте конечного пользования. Использование дробилки позволяет также перерабатывать пневую и корневую древесину, что расширяет сырьевую базу и увеличивает объем поставок топлива. Для совместной или отдельной транспортировки насыпных лесосечных отходов, тюков с лесосечными отходами, неочищенных от сучьев отрезков деревьев, пневой и корневой древесины разработаны лесовозные автопоезда грузоподъемностью 150 м³.
- Тем не менее более распространенным остается метод доставки древесного топлива на предприятие в виде щепы. При транспортировке на короткие расстояния, загруженности нижнего склада или ограниченной приемке грузов на предприятии грузовой автомобиль используется без прицепа. В этом случае максимальная грузоподъемность автомобиля составляет 60 м³. В остальных случаях используют автопоезда грузоподъемностью 100–130 м³.
- *Ожидание в очереди грузовых автомобилей, осуществляющих транспортировку древесного топлива,* является нежелательным фактором, подлежащим устранению. Очереди могут образовываться на крупных предприятиях, в особенности в холодную погоду в зимний период, когда возрастает спрос на топливо. Пик прибытия автомобилей обычно приходится на утренние часы. Для ликвидации очередей необходимо устранить недостатки в системе приемки и составить график прибытия транспорта.
- Использование действующей через сеть Интернет универсальной системы контроля логистики с применением передвижных терминалов может повысить эффективность производственного процесса.

- К сожалению, *не была обеспечена в достаточной степени совместимость оборудования*, применяемого при поставке лесной щепы. Причина недостаточной совместимости оборудования заключается в том, что условия производства лесосечных работ различны на различных этапах рубок — от первых непромышленных рубок прореживания до рубок главного пользования, а также в недостаточной разработанности технологии производства. В настоящее время используется несколько производственных схем, и оборудование, применяемое в одних схемах, не всегда совместимо с оборудованием, применяемым в других схемах. Эти различия создают проблемы в практической деятельности, ограничивая гибкость действий подрядчиков и повышая риск инвестиций в условиях, когда технология не позволяет перейти с одной производственной схемы на другую. При этом рынок оборудования разрознен, невозможно организовать серийное производство машин, остаются высокими цены на оборудование. Поэтому заготовку и транспортировку лесной биомассы по возможности следует осуществлять с использованием оборудования обычного типа. Этот подход принят также и в Беларуси. Вместе с тем на многих этапах производственного процесса требуется и применение специализированного оборудования.

7.2 Хранение буферных и резервных запасов

Система поставок лесного древесного топлива должна предусматривать меры, позволяющие устранять как предполагаемые, так и непредвиденные нарушения процесса поставки. Чем интенсивнее поток поставляемого древесного топлива и чем выше его доля в составе смешанного топлива, используемого предприятием, тем более важную роль играют такие факторы, как *точность и надежность поставок*. Нарушения процесса поставки могут быть вызваны рядом причин.

- Потребность в топливе повышается в зимний период, когда снежно-ледяной покров затрудняет производство щепы и может вызывать поломки техники.
- Объемы запасов коры опилок и лесосечных отходов могут снижаться в периоды экономического спада в лесопильной промышленности. Выход лесосечных отходов также уменьшается во время праздников.
- Мелкие поставщики топлива, заготавливаемого с использованием одной машины, особенно уязвимы к последствиям болезней, трудовых конфликтов или поломок техники.
- Повышенная влажность щепы вызывает снижение КПД оборудования и повышает уровень выбросов. Щепа может помещаться на хранение для снижения и выравнивания содержания влаги.

Устойчивость системы поставок топлива к воздействию негативных факторов может быть повышена посредством организации хранения краткосрочных, сезонных и долгосрочных запасов топлива, имеющих следующее назначение.

- Краткосрочные буферные запасы создаются с целью обеспечения бесперебойной поставки топлива в ночное время, в выходные дни, во время праздников, при неблагоприятных погодных условиях и при поломках техники.
- Сезонные буферные запасы создаются с целью регулирования содержания влаги в лесном древесном топливе, предназначенном для сжигания в зимнее время, а также переноса работ с зимнего периода с неблагоприятными условиями производства работ на более благоприятный летний период.
- Долгосрочное резервное хранение древесного топлива (для стратегических целей, как, например, нефти) не предусматривается.

7.3 Приемка и погрузочно-транспортные операции

Древесное топливо отличается от торфа и угля тем, что оно имеет другие свойства, определяющие методы погрузочно-транспортных операций, иной гранулометриче-

ский состав, объемную плотность, влажность и текучесть. Такие различия существуют и между древесными видами топлива. Например, характеристики щепы отличаются от характеристик отходов окорки. При планировании производственного процесса необходимо учитывать различия в характеристиках применяемых видов топлива. Неподготовленность предприятия к применению имеющих различные свойства видов древесного топлива и использованию щеповозов может осложнять приемку, погрузочно-транспортные операции, операции смешения и подачи топлива. К сожалению, это обстоятельство не всегда учитывается.

По результатам проведенного в Финляндии исследования по выявлению узких мест в системе погрузочно-транспортных операций на ряде крупных установок комбинированного производства тепловой и электрической энергии были сделаны следующие выводы.

- *Приемочный пункт* должен иметь оборудование, обеспечивающее оперативную беспрепятственную разгрузку щеповозов и позволяющее осуществлять разгрузку материалов, имеющих низкую энергетическую плотность. Недостаточная разгрузочная способность приемочного пункта повышает время разгрузки щеповозов, что приводит к созданию очередей и увеличению издержек.
- *Стационарная дробилка.* Устанавливаемая на предприятии стационарная дробилка должна обеспечивать измельчение всех видов поставляемой на предприятие биомассы: насыпных и пакетированных лесосечных отходов, не очищенных от сучьев отрезков деревьев, утилизированной древесины и пневой и корневой древесины. Использовать дробилку, приобретение которой требует инвестиций в размере 1–2 млн. Евро, могут себе позволить только крупные предприятия.
- *Дисковое сито с дробилкой* используются для отделения крупных частиц и их измельчения до требуемых размеров с целью повышения характеристик текучести топлива и предотвращения поломки и заклинивания транспортера. Котельные установки малой мощности, не всегда имеющие сито с дробилкой, вынуждены закупать более дорогостоящую высококачественную щепу.
- Склад для хранения буферного запаса топлива требуется для обеспечения поставок топлива в выходные дни и в других необходимых случаях. Он может размещаться в прямоугольном здании, круглом бункере или на открытой местности. Крытый склад обычно имеет объем, достаточный для хранения запасов щепы на 10–20 часов работы установки.
- Опыт показывает, что *необходимо надлежащим образом учитывать свойства щепы и эксплуатационные характеристики щеповозов.* В противном случае возможны нарушение бесперебойности поставок топлива и снижение эксплуатационной готовности предприятия. При замене устаревшего оборудования или монтаже установки на древесном топливе *в планировании работ должна принимать участие организация, которая будет осуществлять поставку щепы.*

8 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЛЕСНОЙ ЩЕПЫ

Качество лесной щепы зависит от вида источника биомассы и методов ее измельчения, погрузки, разгрузки и хранения. Однородность гранулометрического состава, низкое содержание листвы, низкая влажность и зольность повышают эффективность и экономичность работы установки, использующей биоэнергию, и полноту сжигания топлива.

Котлоагрегаты различных типов требуют использования топлива с различными свойствами. Как правило, чем крупнее установка, тем она устойчивее к колебаниям характеристик топлива. Однако в любом случае знание свойств топлива и надлежащий контроль качества являются необходимыми условиями обеспечения эксплуатационной надежности оборудования и полноты сгорания топлива при эксплуатации всех типов котельных установок, включая ТЭЦ. Значение качества становится более очевидным с увеличением объемов производства щепы.

Качество щепы зависит от многих факторов, таких как влажность, теплотворная способность, энергетическая плотность, содержание листвы, удельные выбросы CO_2 , размеры частиц. При этом следует учитывать не только средние значения. Возможно, более важным фактором является колебание этих характеристик. Щепа может иметь различные характеристики в одной партии груза, в различных партиях груза, а также в зависимости от времени года. Одной из основных задач контроля качества является снижение этих различий.

8.1 Влажность

Наиболее важным фактором, определяющим качество щепы, является влажность. Влажность представляет собой прямой фактор стоимости и учитывается при определении цены на топливо. Повышенная влажность может привести к снижению цены на топливо, в то время как низкая влажность щепы может принести дополнительные доходы. Уровень влажности оказывает влияние на величину теплотворной способности, свойства щепы в период хранения и затраты на транспортировку топлива.

- *Низшая теплота сгорания.* Расход тепловой энергии при испарении влаги составляет 0,7 кВт·ч/кг воды. При снижении влажности свежесрубленной древесины с 55 до 40% первоначальное содержание влаги уменьшается в два раза, а низшая теплота сгорания возрастает на 8%.
- *Полнота сгорания.* Влажная древесина сгорает не полностью, при этом теряется часть тепловой энергии топлива. Эта проблема особенно характерна для котлов малой мощности, температура сгорания топлива в которых остается низкой, если древесина имеет высокую влажность.
- *Выбросы.* Неполное сгорание повышает уровень выбросов двуокиси углерода, углеводородов и мелких частиц.
- *Свойства при хранении.* В период хранения в щепе протекают химические и биохимические реакции, в особенности если щепа содержит богатый питательными веществами материал, такой как листва. Потери сухого вещества можно предотвратить только в том случае, если влажность щепы поддерживается на уровне менее 25%.
- *Проблемы, возникающие при погрузочно-транспортных операциях.* Зимой влажная щепа может смерзаться при транспортировке на автотранспорте и хранении в бункерах. Использование смерзшейся щепы может приводить к заклиниванию и поломке погрузочно-разгрузочных систем предприятия.

Крупные установки более устойчивы к высокой влажности и ее колебаниям в щепе. Тем не менее высокая влажность снижает КПД даже крупных установок. Влажность древесного топлива не должна быть слишком высокой; также следует исключить различия в характеристиках влажности различных партий щепы.

Влажность зеленой биомассы необходимо снизить с тем, чтобы в полной мере использовать энергетический потенциал топлива. Влажность является критической характеристикой топлива, в особенности в зимний период, так как естественное уменьшение содержания влаги происходит только в летнее время. Для поддержания пониженного уровня влажности в дождливый осенний период необходимы детальное планирование и определение сроков производства работ.

При любых условиях следует принять меры к тому, чтобы обеспечить поддержание влажности щепы, используемой на установках большой мощности, на уровне менее 50% и щепы, используемой на установках малой мощности, на уровне менее 40%.

8.2 Другие свойства древесного топлива

Энергетическая плотность означает количество энергии на единицу объема грузового пространства транспортного средства или кучи древесного топлива. Энергетическая плотность древесного топлива определяется следующими параметрами.

- *Базовая плотность древесины, коры и хвои* (кг сухой массы/плотный м³). Как правило, базовая плотность древесины тонкомерной березы составляет 450–500 кг/м³; естественная плотность других пород деревьев, произрастающих в Финляндии, составляет 370–410 кг/м³. Наиболее низкую базовую плотность имеет сосновая кора (270 кг/м³).
- *Эффективная или низшая теплота сгорания* (кВт·ч/кг топлива) зависит от химического состава и влажности топлива. Лигнин имеет более высокую теплотворную способность, чем углеводороды, и мягкая древесина обладает, соответственно, более высокой теплотворной способностью, чем древесина твердых пород. Однако содержание влаги оказывает большее воздействие на величину теплотворной способности древесного топлива, чем его естественные свойства.
- *Объемная плотность* (плотный м³/насыпной м³) означает отношение плотного объема топлива к насыпному объему топлива. Например, объемная плотность измельченных лесосечных отходов составляет 0,15–0,20. Измельчение повышает это значение до 0,36–0,46. Обычно применяемый коэффициент преобразования плотности лесной щепы составляет 0,40. Уплотненные бревна из лесосечных отходов имеют приблизительно такую же объемную плотность, как и щепы, перевозимая на щеповозе. Лесное топливо занимает значительно больший объем по сравнению с другими видами топлива.

В приложении 4 содержится дополнительная информация об объемной плотности различных видов топлива.

Лесная щепа может содержать значительное количество хвои. Если при проведении лесозаготовительных работ не происходит осыпания хвои, то содержание хвои в щепе из целых деревьев может составлять 5–9% при переработке сосны и 10–18% при переработке ели. Хотя мелкие ветви и хвоя отделяются от деревьев на различных этапах производственного процесса, в щепе остается хвоя, осложняющая процесс сжигания топлива.

Хвоя имеет высокое содержание алкалоидов металлов и хлоридов. В зависимости от условий горения щелочные металлы могут окисляться или образовывать сульфаты или хлориды. При сжигании только лесной щепы содержание серы остается низким и образуются хлориды. Затем хлориды конденсируются на теплопередающих поверхностях котла, снижая эффективность процесса теплопередачи и повышая риск возникновения высокотемпературной коррозии. Пока не будет найдено решение

проблемы эффективного сжигания хвои, нельзя допускать, чтобы щепа имела повышенное содержание хвои. Очистка щепы от хвои замедляет процесс поставки топлива, осложняя логистику процесса и увеличивая издержки.

Зольность чистой древесины составляет 0,5%; зольность коры в 6–7 и листы в 6–11 раз выше зольности древесины. Таким образом, чистая зольность щепы из целых деревьев составляет около 1% и щепы из лесосечных отходов — 2%, или 4–6 и 8–12 кг/м³ топлива соответственно. На практике выход золы с примесями выше, так как щепа может содержать примеси, такие как песок; зола также может содержать уголь. Так как образование золы повышает издержки и осложняет захоронение отходов на свалке, при производстве лесозаготовительных работ необходимо обеспечить получение максимально чистой биомассы. Эту задачу облегчает осуществление внедорожной транспортировки лесоматериалов форвардерами, что является отличительным признаком технологии лесозаготовительных работ, применяемой в североевропейских странах. В странах, использующих метод доставки деревьев или хлыстов на лесосклад волоком с помощью трелевочных тракторов, при сжигании засоренной биомассы образуется большее количество золы с примесями.

9 ФАКТОРЫ СТОИМОСТИ СИСТЕМЫ ПОСТАВКИ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

Знание факторов стоимости лесозаготовительных операций и транспортировки древесного топлива является необходимым условием эффективного планирования и организации системы поставки. Для минимизации издержек, связанных с производством биоэнергии, необходимо оптимизировать цепочку поставки (включающую закупку, заготовку и транспортировку древесного топлива).

В настоящей главе* рассматриваются факторы стоимости, связанные с закупкой, заготовкой и транспортировкой древесного топлива. Также рассматривается воздействие на систему поставки различных производственных условий и масштабов производства.

9.1 Факторы стоимости процесса принятия решений

Производственные и оперативные затраты в лесозаготовительной промышленности определяются переменными факторами, связанными с эксплуатацией оборудования, условиями труда, работой операторов, деятельностью различных организаций, производством товаров и предоставлением услуг. Знание факторов стоимости необходимо для выполнения оценки приемлемости многочисленных технологий и организационных структур в различных условиях. Определение факторов стоимости может производиться исходя из условий среды, в которой осуществляется производственная деятельность:

- *глобальных и региональных условий*, например климата, характеристик лесов, плотности населения;
- *местных условий и условий в масштабе страны*, например особенностей ландшафта, состояния лесоводства, дорог и сетей связи, налоговой системы;
- *условий на участке производства работ*, например объема древесины на единице площади и на лесосеке, размеров деревьев, периодов лесозаготовок, характера местности, расстояний транспортировки, используемых методов и оборудования.

Оценка затрат на производство лесозаготовительных работ необходима на стратегическом, тактическом и оперативном уровнях. Решение относительно размещения котельной установки, работающей на щепе, установки комбинированного производства тепловой и электрической энергии или выбора систем лесозаготовок должно приниматься *на стратегическом уровне*. Например, система лесозаготовок может ограничивать степень интеграции операций по заготовке деловой круглой древесины и лесосечных отходов. *На тактическом уровне* руководители, ответственные за производство лесозаготовительных работ, должны определить, например, ежегодные объемы и районы лесозаготовок, а также места переработки заготовленной древесины. Необходимо иметь данные о величине средних издержках по отдельным районам с тем, чтобы оптимизировать систему лесозаготовки и схему транспортировки. *На оперативном уровне* осуществляется отвод под заготовку участков древостоя и составляется график производства работ, что требует выполнения стоимостной оценки каждой из систем, используемых в заготовке лесного древесного топлива.

9.2 Характеристики машин как факторы стоимости

Технические характеристики лесозаготовительных машин определяют пределы их применения в различных условиях и организациях. Например, технические характеристики внедорожных лесозаготовительных машин можно разделить на следующие две группы:

* По публикации don Richardson et al. (2002).

9. ФАКТОРЫ СТОИМОСТИ СИСТЕМЫ ПОСТАВКИ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

- мобильность транспортного средства (устойчивость, скорость, маневренность, сила тяги и т.д.);
- погрузочно-транспортные характеристики, характеристики переработки (грузоподъемность, погрузочно-разгрузочная способность, производительность переработки).

Устойчивость является, возможно, наиболее важным фактором, определяющим рабочие характеристики внедорожной машины. Устойчивость оказывает воздействие на скорость, маневренность, тяговое усилие на крюке, способность осуществлять подъем или спуск, производить погрузку и разгрузку материалов.

Скорость определяет производительность машины в сочетании с грузоподъемностью. Скорость внедорожных машин, передвигающихся по неровной поверхности и склонам, составляет только несколько километров в час. Устойчивость машины (в сочетании с эргономическими факторами) ограничивает скорость машины при передвижении на местности с данным типом рельефа. При передвижении по пересеченной местности высокая скорость повышает нагрузку на корпус машины, трансмиссию, в особенности крепления колес.

Маневренность зависит от размеров лесозаготовительной машины и типа рулевого управления (передними колесами, шарнирно-сочлененное управление), типа трансмиссии, характеристик колес и приборов управления. Точность рулевого управления позволяет передвигаться с более высокой скоростью, так как дает возможность выбрать оптимальное направление движения.

Сила тяги определяет способность машины преодолевать силы, препятствующие ее движению. Факторы, уменьшающие величину силы тяги, включают трение, уклоны, рытвины. Мощность двигателя и объем груза также оказывают влияние на величину силы тяги.

Погрузочно-разгрузочная способность машины определяет время, затрачиваемое на погрузку и разгрузку. Скорость погрузки и разгрузки зависит от характеристик движения и управляемости. Грузоподъемность и размеры захватного устройства определяют количество и расстояние перемещения материала.

Грузоподъемность является основным фактором, определяющим производительность производственного процесса, так как производительность каждого рабочего цикла равна объему груза, перевезенного машиной (рис. 9.1). Грузоподъемность ограничивается общей массой машины, которая оказывает влияние на маневренность транспортного средства и может способствовать образованию рытвин. Большой объем груза может осложнять работу машины, когда она передвигается по узким волокам или лесным дорогам по неровной местности.

Как правило, в исследованиях по изучению характеристик производительности отсутствует детальный анализ воздействия

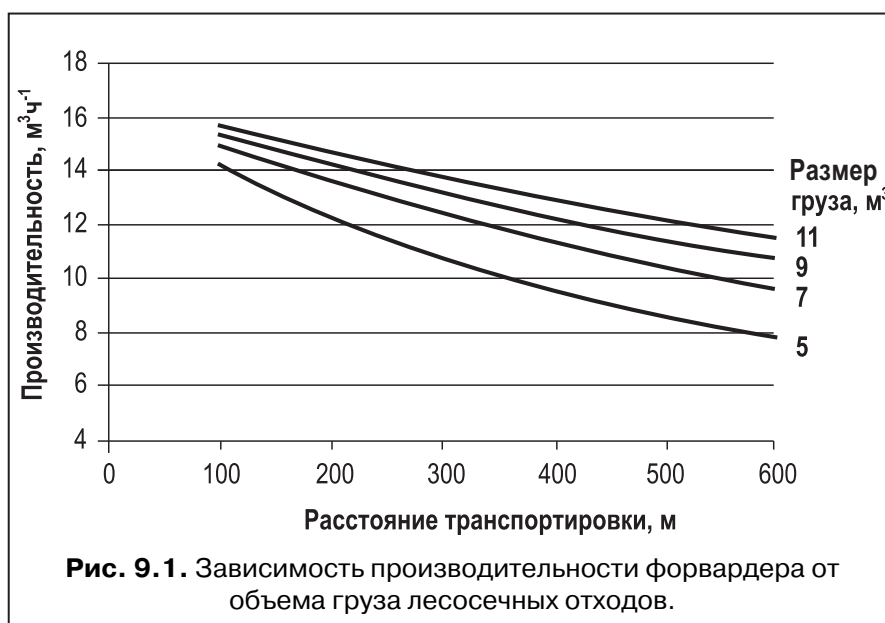


Рис. 9.1. Зависимость производительности форвардера от объема груза лесосечных отходов.

отдельных параметров машины на нее. В этих исследованиях машина рассматривается как единое целое. В *исследованиях по изучению рабочего процесса* он делится на элементы, такие как погрузка и разгрузка, передвижение в нагруженном и холостом состоянии, передвижение в процессе погрузки. Анализ рабочего процесса позволяет определить критические элементы, оказывающие наибольшее воздействие на характеристики производительности. Элементы рабочего процесса различным образом влияют на функции машины. Например, анализ отдельного элемента рабочего процесса позволяет определить способность соответствующих компонентов машины выполнить этот элемент.

9.3 Условия участка производства работ как факторы стоимости

На производительность заготовки древесного топлива на участке производства работ оказывают воздействие следующие факторы:

- характер рельефа местности;
- методы, применяемые для предшествующей или одновременной заготовки деловой круглой древесины;
- расстояние до верхнего склада;
- количество биомассы, остающейся на лесосеке.

В *исследованиях рабочего процесса* он делится на элементы с тем, чтобы составить детальную схему рабочего цикла. Эти элементы требуют выполнения различных объемов работ оператором или машиной. В таких исследованиях переменными факторами обычно являются различные типы участков производства работ и различные уровни механизации. Каждый элемент рабочего процесса состоит из постоянного компонента (заданное время) и переменного компонента, характеристики которого зависят от факторов участка производства работ. Затраты времени на выполнение элемента рабочего процесса определяются различным образом отдельными факторами участка производства работ. Например, при производстве щепы на лесосеке (производство щепы в лесу, производство щепы у пня) рабочий цикл форвардера делится на элементы и определяются факторы, оказывающие воздействие на каждый элемент (таблица 9.1).

Таблица 9.1. Факторы, оказывающие влияние на производительность работы форвардеров при производстве щепы в лесу.

Элемент	Факторы участка производства работ	Факторы (характеристики) машины
Передвижение в ненагруженном состоянии	Расстояние транспортировки	Скорость транспортировки
Передвижение в процессе погрузки	Плотность материала по сторонам волока	Скорость транспортировки
Погрузка	Штабелирование лесоматериала	Рабочий объем захвата Скорость движения манипулятора
Передвижение с грузом	Расстояние транспортировки	Скорость транспортировки
Разгрузка		Рабочий объем захвата Скорость движения манипулятора

В странах, реализующих программы повышения производства биоэнергии из древесного топлива, регулярно проводятся исследования по анализу затрат рабочего

времени (и соответствующих издержек) на выполнение отдельных элементов производственной цепочки по заготовке древесного топлива. Организации, осуществляющие такие исследования не в странах Северной Европы:

- Österreichischen Bundesforste AG, Австрия;
- Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Бавария;
- Германия: Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V, Groß-Umstadt
- Группа по исследованию методов поставки древесины (Wood Supply Research Groups), Университет г. Абердин, Соединенное Королевство;
- Факультет биологических и сельскохозяйственных разработок, Калифорнийский университет, США.

9.4 Человеческие факторы

Отношение между величиной издержек на рабочую силу и величиной издержек по эксплуатации машин учитывается при определении оптимальной степени механизации лесозаготовительных работ. В промышленно развитых странах рабочая сила имеет настолько высокую стоимость, что механизация является необходимой, и, как правило, издержки на рабочую силу составляют менее 30% общих почасовых затрат по эксплуатации машины. В странах с более низкой стоимостью рабочей силы может быть экономически целесообразной более низкая степень механизации. В Российской Карелии, как и в Беларуси, ручная валка леса обходится дешевле, чем эксплуатация однозахватного харвестера, даже на рубках главного пользования. В Финской Карелии ручная валка является конкурентоспособной операцией только на рубках первых прореживаний. Такие отличия объясняются в основном различиями в уровнях заработной платы между этими странами.

От работы оператора в значительной степени зависит производительность машины. Факторами, определяющими производительность труда оператора, являются степень прилагаемых усилий, квалификация, физиологические и психологические качества, мотивация к выполнению работы. К факторам, оказывающим воздействие на мотивацию оператора, относятся уровень культуры и система оплаты труда. С тем, чтобы получить обобщенные результаты анализа рабочего времени (анализ производительности), необходимо участие в исследовании нескольких операторов, имеющих аналогичный опыт работы.

9.5 Взаимодействие между машинами

Производственная цепочка по поставке древесного топлива включает несколько типов машин и транспортных средств, осуществляющих первичную транспортировку, переработку и вторичную транспортировку лесоматериалов. В перерывах между выполнением большинства операций древесное топливо помещается на хранение в различной форме и на различные сроки. Так как все элементы производственной цепочки прямо или косвенно взаимодействуют между собой, при определении затрат на производство лесозаготовительных работ следует выполнить анализ системы в целом.

Прямое взаимодействие осуществляется, когда производится перемещение материала непосредственно из одной машины или транспортного средства на другие без промежуточного хранения, например когда пневматическое устройство рубительной машины перегружает цепу непосредственно в форвардер. Прямое взаимодействие является важным фактором даже в хорошо сбалансированных системах. Исследования по анализу рабочего времени и моделированию процессов показывают, что при производстве щепы на верхнем складе условия взаимодействия могут снижать производительность рубительной машины на 10–20%. Когда несколько грузовых автомобилей используют одну погрузочно-разгрузочную площадку, они так-

же взаимодействуют между собой во время нахождения в очереди. На практике на сбалансированность системы всегда оказывают воздействие изменения в условиях производства работ, например постоянное изменение расстояния транспортировки, в особенности когда осуществляется сбор древесного топлива, произведенного на многочисленных мелких частных участках, что является обычной практикой, например, в североевропейских странах.

Непрямое взаимодействие имеет место при укладке лесоматериалов в кучи или штабели. В этом случае процесс складирования или штабелевки лесоматериалов оказывает воздействие на производительность последующих этапов процесса. Производительность этапа может снижаться, если на нем требуется обеспечить тщательную укладку лесоматериалов с целью ускорения движения потока лесоматериалов на следующем этапе. Транспортировка лесосечных отходов, отрезков деревьев или деревьев требует укладки лесоматериалов вдоль волока, хотя эта операция может несколько снизить производительность харвестера или валочной машины. Скорость транспортировки деловой круглой древесины также может снижаться при увеличении расстояния подъема груза на участках укладки куч лесосечных отходов.

9.6 Масштаб производства

Масштаб производства оказывает различное воздействие на величину издержек по поставке древесного топлива. Увеличение годового объема производства снижает организационные издержки на единицу произведенной продукции. Оптимальным вариантом является функционирование отдельной производственной цепочки с производительностью, близкой к ее максимальной годовой производительности.

Организация, осуществляющая поставки древесного топлива, должна обеспечить использование дополнительного оборудования или дополнительной производственной цепочки по поставке древесного топлива в случае необходимости превышения максимальной производственной мощности существующей производственной цепочки. Теоретически увеличение масштабов производства не сопровождается постоянным снижением прямых издержек по производству лесозаготовительных работ. График, представленный на рис. 9.2, иллюстрирует производственный процесс, в котором цепочка по поставке древесного топлива основана на использовании смонтированной на грузовом автомобиле рубительной машины и щеповоза. Годовые постоянные издержки по эксплуатации применяемой техники составляют 75 000 и 60 000 долларов США, а переменные почасовые издержки – соответственно 30 и 15 долларов США. Предполагается, что средняя общая производительность цепочки составляет 30 м³ за общий эффективный машино-час. По мере увеличения объемов поставок уменьшаются издержки производства на единицу продукции, однако при образовании новой цепочки они резко возрастают из-за того, что все используемые цепочки начинают работать с недогрузкой. Когда все используемые цепочки достигают уровня производительности, близкого

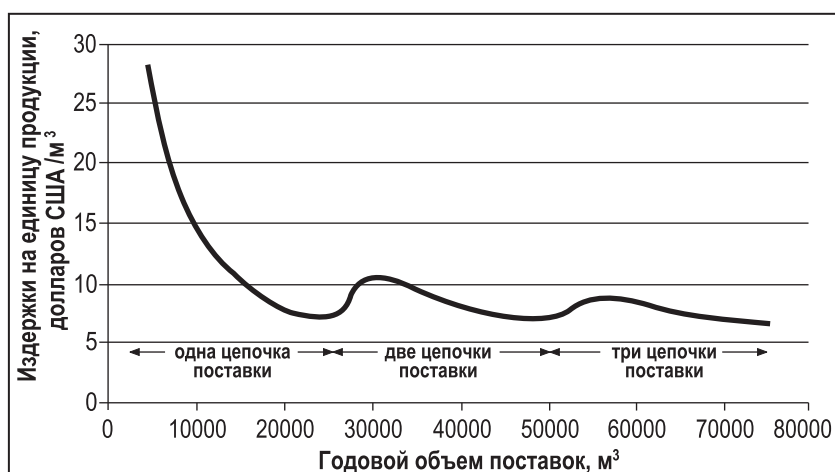


Рис. 9.2. Зависимость величины издержек на единицу продукции от годового объема поставок при использовании дополнительных производственных цепочек по поставке древесного топлива.

к максимальному, издержки производства на единицу продукции становятся минимальными. На практике использование арендованной техники для заготовки небольшого дополнительного количества древесины часто снижает величину издержек.

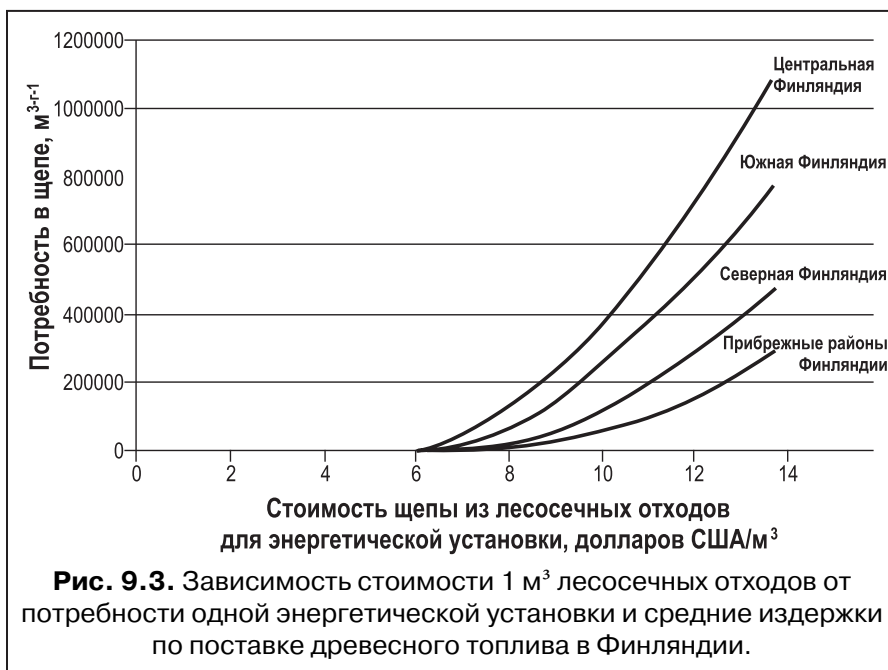
По ряду причин увеличение использования лесной биомассы для производства энергии может существенно повысить издержки

по производству лесозаготовительных работ. Когда количество заготавливаемой древесины составляет лишь малую часть общих запасов древесины, ее заготовка производится на лучших участках древостоев. При этом поставщики могут использовать расположенные рядом с предприятиями заказчиков насаждения, обеспечивающие высокий выход лесоматериалов с гектара и позволяющие осуществлять транспортировку на короткие расстояния. По мере повышения объемов производства топливной древесины лесозаготовительные работы переносятся на более удаленные и менее благоприятные участки. Степень воздействия масштабов производства на величину издержек зависит от географических условий.

На рис. 9.3 показано количество лесосечных отходов от рубок главного пользования, которое можно получить с указанными средними издержками в различных районах Финляндии. Электростанции, котельные установки или установки комбинированного производства тепловой и электрической энергии, расположенные на побережье, получают древесину, заготавливаемую в пределах территории, имеющей форму полукруга, в то время как установки, расположенные во внутренних регионах, имеют доступ к лесным участкам во всех направлениях. Эти условия оказывают значительное воздействие на стоимость транспортировки. Сосновые древостои, преобладающие в лесах, произрастающих на побережье, дают меньший выход массы кроны с гектара, чем еловые насаждения, преобладающие в лесах Центральной и Восточной Финляндии. Лучшими источниками лесосечных отходов являются древостои, расположенные в центральных районах страны.

9.7 Организация поставок лесного древесного топлива

Крупные лесохозяйственные компании, начинающие осуществлять заготовку лесосечных отходов, могут использовать простые средства управления производственным процессом. На этом этапе достаточно иметь компьютерную электронную таблицу, связанную с базой данных лесосек, и соответствующую карту. Персонал компании может использовать такую электронную таблицу, пока остается ограниченным число лесосек и производственных цепочек по поставке древесного топлива, доставляемого на несколько котельных установок или ТЭЦ. По мере увеличения масштабов производства осуществляется внедрение более сложных систем управления и их интеграция в более крупные системы.



В высокоинтегрированных (комплексных) системах лесозаготовок заготовка древесного топлива осуществляется при выполнении «однопроходной» лесозаготовительной операции. В этих системах планирование заготовок древесного топлива является необходимым компонентом производственного планирования; решения относительно состава сортиментов и т.д. принимаются на основе оценки обеспечиваемого ими выхода различных лесоматериалов, а технология и методы производства работ адаптируются к условиям комплексной системы лесозаготовок.

Осуществление различных операций также может быть интегрировано на организационном уровне. Использование общих ресурсов для заготовки «биоэнергетической» и деловой круглой древесины позволяет значительно повысить экономическую эффективность лесозаготовок. Если заготовка древесного топлива является единственным видом деятельности, в ее стоимость включают все административные издержки. Из-за общего низкого объема заготовок лесосечных отходов и их низкой стоимости административные расходы являются относительно высокими. В северо-европейских странах они составляют 1–1,5 долларов США за 1 м³, или около 8–10% общей цены поставляемых материалов.

Цены могут устанавливаться по маргинальным издержкам, если поставка древесного топлива включается в процесс поставки промышленной круглой древесины. Так как основная деятельность организации будет осуществляться независимо от того, производится или не производится заготовка древесного топлива, и заготовка древесного топлива рассматривается как деятельность, осуществляемая дополнительно к основной деятельности организации, в стоимость топливной древесины включаются только маргинальные административно-хозяйственные издержки. Величина этих издержек зависит от степени интеграции операций по заготовке топливной древесины в основную деятельность. Если заготовка древесного топлива осуществляется с использованием существующих инструментов управления, методов поставки и информационных систем, величина маргинальных административных расходов может приближаться к нулю.

9.8 Качество щепы как фактор стоимости

Качество древесного топлива может оказывать различное воздействие на величину издержек. При повреждении ножей рубительной машины инородными материалами (изделиями), такими как камни, металлические предметы и песок, может потребоваться их замена или заточка. Тупые ножи снижают производительность рубительной машины и не позволяют получить щепу требуемых размеров.

Влажность оказывает воздействие на величину транспортных издержек. Чем больше влажность материала, тем меньше объем груза топлива. Также высокое или неравномерное содержание влаги осложняет процесс сжигания топлива. Влажность древесного топлива снижают посредством его хранения на лесосеке, верхнем или лесном складе или предприятии. Хранение древесного топлива повышает его теплотворную способность, в особенности если предусмотрена защита материала топлива от дождя. Вместе с тем опадание листвы и деятельность микроорганизмов вызывают потери топлива при хранении, что снижает выход топлива и увеличивает площадь района заготовок, повышая транспортные издержки. Кроме того, снижение плотности лесоматериалов может увеличивать время загрузки форвардеров и рубительных машин.

Мощность энергетической установки и применяемый метод сжигания топлива определяют инфраструктуру, методы погрузочно-разгрузочных операций, конструкцию котла и требования к объему поставки и качеству сырья. Наиболее важными факторами стоимости являются влажность топлива, низшая теплота сгорания, энергоемкость и размер частиц.

9.9 Структура издержек при заготовке топливной древесины

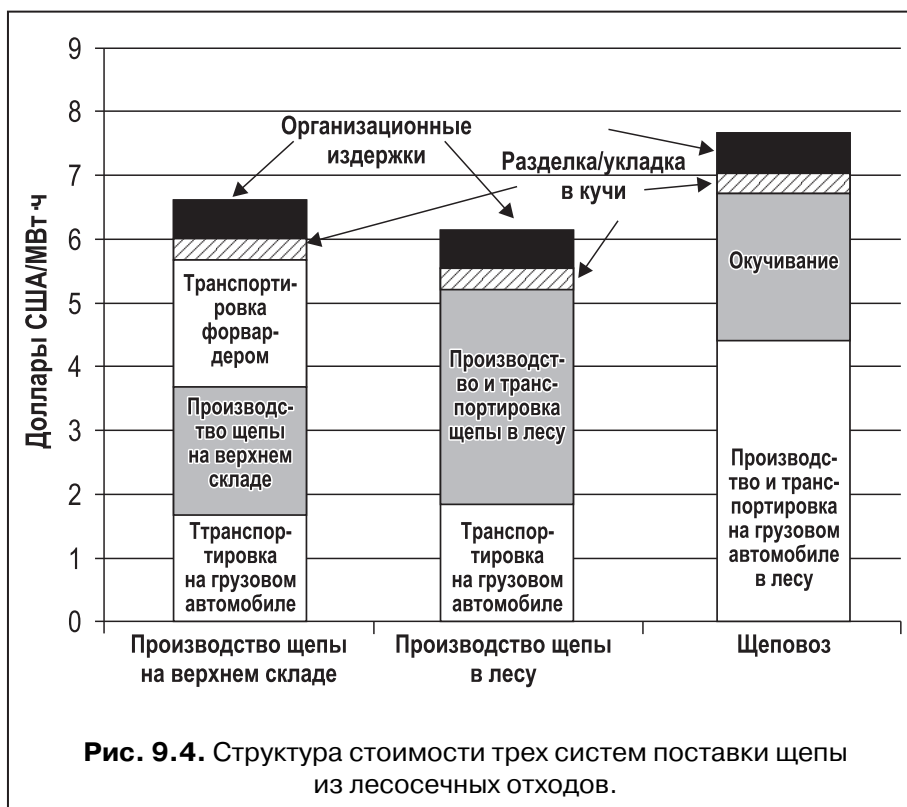
Хотя модели оценки издержек определяются условиями страны и видом деятельности, они имеют аналогичную базовую структуру. Переменные факторы, связанные с функциями стоимости, определяются:

- уровнями издержек и заработной платы;
- инфраструктурой;
- методами бухгалтерского учета;
- методами поставок;
- наличием свободных ресурсов;
- непредвиденными издержками и т. д.

Обычно производительность, производственные факторы и капитальные издержки являются наиболее важными компонентами затрат по эксплуатации оборудования. Административные издержки и предпринимательские риски (прибыли/убытки) не являются постоянными и определяются условиями производства на предприятии. При калькуляции затрат на заготовки древесного топлива величина издержек на единицу произведенной продукции определяется делением почасовых затрат на производительность машины ($\text{м}^3/\text{производительный машино-час}$).

Как правило, определение издержек на людские ресурсы, включая социальные издержки и налоги, можно осуществлять на основе тарифных ставок. Издержки по эксплуатации оборудования подразделяются на постоянные и переменные, величина их в численном выражении определяется с учетом воздействия каждого фактора на применяемые методы или оборудование.

Различные производственные системы имеют разные структуры стоимости, определяемые характеристиками системы. В системах, предусматривающих производство щепы на нижнем складе (у лесовозной дороги), используются форвардер, рубительная машина и грузовые автомобили. В системах с производством щепы в лесу (на лесосеке) используется внедорожная рубительная машина и грузовой автомобиль со сменным контейнером. Щеповоз, оборудованный рубительной машиной, осуществляет как переработку древесины в щепу (на лесосеке или верхнем складе), так и транспортировку щепы по лесовозной дороге. Эти системы имеют различные структуры стоимости (рис. 9.4), по-разному реагирующие на изменения в условиях производства лесозаготовительных работ. Например, щеповоз с



рубительной машиной может эффективно использоваться на ровной местности с короткими расстояниями транспортировки груза. Система с производством щепы у лесовозной дороги может использоваться на местности со сложным рельефом, хотя сам верхний склад должен быть расположен на ровном участке с твердой поверхностью. Щеповоз с рубительной машиной может работать на верхнем складе даже в неблагоприятных условиях.

9.10 Утилизация золы

При заготовке древесного топлива значительно увеличивается количество питательных веществ, изымаемых из участков насаждений, особенно в легкоусвояемой форме. При этом потери питательных веществ могут в три раза превышать их потери при заготовке только круглых лесоматериалов.

Потери питательных веществ и окисление почвы, вызываемые заготовкой лесосечных отходов, можно компенсировать посредством возврата в лес золы, образующейся при сжигании древесного топлива. При этом решается проблема утилизации золы, снижается стоимость золоудаления и зола становится полезным вторично используемым ресурсом.

Внедрение системы утилизации золы способствует формированию более ответственного отношения к поддержанию баланса питательных веществ в лесной почве. Питательные вещества можно удалять из почвы в период низкой потребности в них деревьев и повышенного выщелачивания почвы и возвращать в почву в виде золы, когда потребность деревьев в питательных веществах повышается. Баланс различных питательных элементов можно регулировать в соответствии с определяемыми на месте потребностями.

Утилизация золы представляет собой сложную операцию, требующую организационного и материально-технического обеспечения. Свойства утилизируемой золы можно модифицировать посредством уплотнения, гранулирования или брикетирования, позволяющих получить экономичный и экологически приемлемый продукт.

9.11 Издержки и доходы при осуществлении лесохозяйственных/лесоводческих мероприятий, связанных с заготовкой топливной древесины

Включение операций по заготовке топливной древесины в существующую систему заготовок сортиментов оказывает воздействие на будущие рост и развитие древостоя. Заготовка топливной древесины вносит ряд изменений в процесс производства лесозаготовительных работ, включая:

- уменьшение количества биомассы, остающейся на лесосеке;
- значительное увеличение количества питательных веществ, удаляемых из почвы участка лесосеки;
- повышение интенсивности движения транспортных средств на лесосеках;
- увеличение числа машин и операций, используемых на лесосеках.

С точки зрения лесоводства заготовка древесного топлива оказывает как положительное, так и отрицательное воздействие. Характер воздействия зависит от того, осуществляется ли заготовка топливной древесины после проведения рубки главного пользования или при проведении рубок прореживания. Например, заготовка древесного топлива при проведении рубок главного пользования оказывает следующее воздействие на состояние леса:

- возможное замедление роста растений из-за потери питательных веществ;
- возможно более раннее восстановление древостоя;

9. ФАКТОРЫ СТОИМОСТИ СИСТЕМЫ ПОСТАВКИ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

- повышение качества и, возможно, также снижение затрат на работы по рыхлению почвы;
- повышение качества и снижение затрат на работы по посадке растений;
- улучшение естественного восстановления;
- задержка последующих рубок прореживания и главного пользования;
- повышенное нарушение почвенного покрова и уплотнение почвы, снижающих прирост и урожайность древесины на участке;
- изменение чувствительности к неблагоприятным воздействиям, вызываемое травоядными животными и насекомыми.

Таким образом, заготовка древесного топлива создает косвенные доходы и издержки при осуществлении последующих мероприятий по уходу за древостоем или лесным участком, которые называют лесоводческими доходами и издержками либо «биологическими», «экологическими» или просто «дополнительными» доходами и издержками. Их определяют как разность в стоимости древостоя, в котором производилась заготовка лесосечных отходов и древостоя, в котором операции по уходу осуществлялись с применением традиционных методов. Хотя лесоводческие доходы и издержки, являющиеся в основном косвенными доходами и издержками, не возникают во время проведения заготовки древесного топлива, их необходимо учитывать при калькуляции затрат. Так как развитие древостоя может осуществляться в различных условиях, следует определить общее время для будущих экономических событий, которым обычно является настоящее время.

10 ЦЕНЫ НА ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО В ОТДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

В настоящей главе представлен краткий обзор развития цен на древесное топливо и существующих цен на него в ряде стран ЕС (Австрии, Германии, Швеции и Финляндии), в которых получили значительное развитие методы применения биомассы в качестве топлива.

10.1 Динамика цен на древесное топливо

В ряде стран, включая Австрию, Германию, Швецию и Финляндию, в течение многих лет осуществляется наблюдение за ценами на древесное топливо и проводятся соответствующие исследования, которые показывают, что общей тенденцией является значительное снижение цен в 1980–1990-е годы. Факторы, способствующие снижению цен в Финляндии, включали:

- разработку лесосечных машин и транспортных средств и развитие систем поставок;
- развитие логистики поставок посредством обучения и в результате приобретения опыта;
- значительный прогресс в области технологии производства лесной древесной щепы;
- расширение масштабов производства;
- общее снижение издержек, связанных с поставками промышленной древесины;
- переход на использование более дешевых ресурсов (целые деревья и лесосечные отходы вместо очищенных от сучьев деревьев).

Швеция и Финляндия имеют наиболее обширный опыт развития методов использования энергии, получаемой из древесины, и мониторинга цен на древесное топливо. Цены на древесное топливо стабилизировались в Швеции после 1996 г., в Финляндии — после 1999 г., но несколько увеличились в последние годы (рис. 10.1). Однако по мере удорожания ископаемых видов топлива повышается относительная экономическая эффективность использования древесного топлива. Стабилизация цен свидетельствует о том, что в этих странах было достигнуто значительное повышение эффективности производства древесного топлива и процесс формирования цен достиг этапа, на котором их колебания определяются спросом и предложением.

Б. Хилринг описывает процесс ценообразования на шведском рынке следующим образом: «Уровень цен определяется величиной производственных издержек в условиях, когда физический доступ к топливу превышает спрос на него. На рынке имеется большое число производителей, между

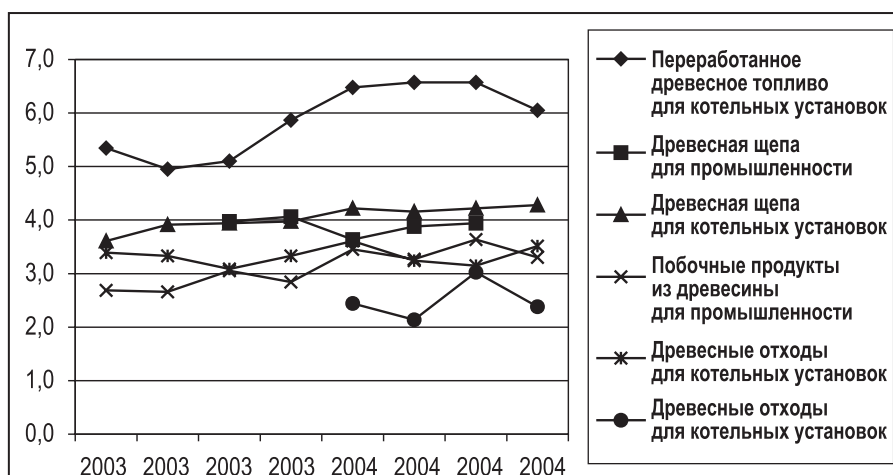


Рис. 10.1. Цены на древесное топливо в Швеции в 2003-2004 гг. (текущие цены в Евро/ГДж без учета налогов).

Источник данных: Ежегодный статистический сборник по лесному хозяйству, 2004 г.; Prisblad för biobränslen, Nr. 1/2005.

которыми существует сильная конкуренция, характеризующаяся прозрачностью производственных издержек. Условия рынка позволяют покупателям платить столько, сколько необходимо для покрытия производственных издержек производителя, и небольшую маржу, позволяющую производителям продолжать производственную деятельность».

В случае дальнейшего удешевления древесного топлива в североевропейских странах темпы снижения цен будут ниже в связи с увеличением среднего расстояния транспортировки грузов, низкой доходностью предприятий, осуществляющих эксплуатацию лесохозяйственной техники, и возможностью введения налога на рубку леса на корню.

10.2 Уровень цен на древесное топливо

Как показано в главе 10.1, цена (ГДж) топливной древесины зависит от многих факторов, при этом для различных категорий покупателей обычно устанавливаются различные цены. Эти факторы включают масштабы производственной деятельности (эффект масштаба производства), структуру собственности предприятия, используемые виды топливной древесины (кора, щепа из древесины, полученной при выполнении ландшафтных работ, отходы лесопильного производства, лесная щепа и т.д.) и требования к качеству топлива. Данные исследований свидетельствуют о значительных различиях в ценах, по которым приобретаются разные виды древесного топлива (см. график на рис. 10.2, построенный по данным, содержащимся на вебсайте www.carmen-ev.de).

Как правило, чем крупнее энергетическая установка, тем меньше диапазон цен и ниже средняя цена. Наиболее высокие цены имеет лесная щепа, поставляемая объединениями владельцев лесных участков и отдельными владельцами лесных участков, в особенности когда щепа поставляется по долгосрочным контрактам. Как правило, лесопильные отходы дешевле, чем лесная щепа.

Опыт Финляндии показывает, что цены на биомассу могут быть снижены посредством принятия ряда мер с учетом того, что:

- необходимо создание конкурентных условий и формирование действующего рынка топлива, а не осуществление поставок в масштабе страны одним поставщиком и сотнями местных подрядчиков;
- в настоящее время энергетические компании предпочитают заключать краткосрочные контракты (на срок менее 1 года) и контракты с несколькими поставщиками;
- конструкция энергетических установок и котлоагрегатов предусматривает возможность сжигания нескольких видов топлива. Биомасса используется только в случае, если она является наиболее конкурентоспособным видом топлива;
- заготовка топливной биомассы и логистика процесса заготовки включаются в систему заготовки древесины для нужд целлюлозно-бумажных и лесопильных предприятий;
- необходимо осуществлять планомерную разработку методов заготовки биомассы.

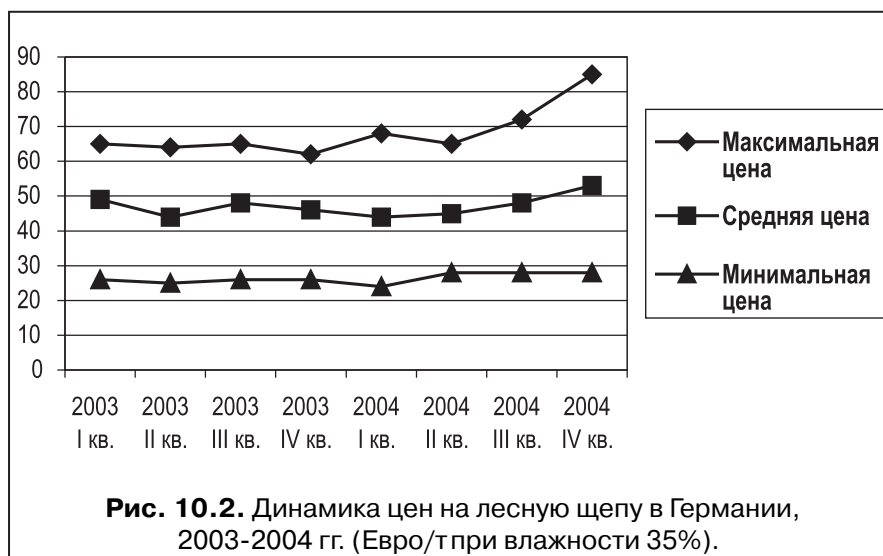


Рис. 10.2. Динамика цен на лесную щепу в Германии, 2003-2004 гг. (Евро/т при влажности 35%).

ЛИТЕРАТУРА

Mitchell C.P., Hudson J.B., Gardner D.N.A., Storry P.G.S., Gray I.M., **Wood Fuel Supply Strategies. Volume 1.** ETSU report B 1176-P1. Harvesting Unit, Department of Forestry, University of Aberdeen, UK, 1990.

(Митчелл К.П., Хадсон Дж.Б., Гарднер Д.Н.А., Сторри Н.Г.С., Грей И.М. Стратегия поставок топливной древесины. Т 1: Отчет ETSU; отчет B 1176-P11. Группа заготовок, лесохозяйственный факультет, Университет г. Абердин. Соединенное Королевство, 1990.)

Mitchell C.P., Hankin C.M. **Forest Residue Harvesting Systems.** ETSU report B/W1/00-136/REP. Wood Supply Research Groups, University of Aberdeen, UK, 1993.

(Митчелл К.П., Хэнкин К.М. Системы поставок топливной древесины. Отчет ETSU, отчет B/W1/00136/REP. Группы исследования процессов поставки древесины, Университет г. Абердин. Соединенное Королевство, 1993)

Mitchell C.P., Hudson J.B., Storry P.G.S., Brown M.J. **Whole Tree Harvesting Systems for Wood Fuel.** Отчет ETSU B 1273. Wood Supply Research Groups, University of Aberdeen, UK, 1993.

(Митчелл К.П., Хадсон Дж.Б., Гарднер Д.Н.А., Сторри Н.Г.С., Браун М.Дж. Системы заготовки целых деревьев для производства древесного топлива. Группы исследования процессов поставки древесины. Университет г. Абердин. Соединенное Королевство, 1993)

Hartsough B., Yomogida D. **Compilation of State-of-the-Art Mechanization Technologies for Short-Rotation Woody Crop Production.** Biological and Agricultural Engineering Department, University of California, Davis CA, USA, November 1996.

(Хартсоу Б., Йомогида Д. Обзор современных технологий механизации процесса заготовки древесины при коротких периодах оборотов рубки. Факультет биологии и агротехники. Калифорнийский университет. Дэвис КА, США, ноябрь, 1996)

Alakangas E., Sauranen T., Vesisenaho T. **Production techniques of logging residues in Finland.** Training Manual ENE39/T00039/99. VTT Energy, Jyväskylä, Finland, 1999.

(Алакангас Е., Сауранен Т., Весисенахо Т. Методы заготовки лесосечных отходов в Финляндии. Учебное пособие. ENE39/T00039/99. VTT Энерджи, Иваскила. Финляндия, 1999)

Wood fuels basic information pack. Textbook co-ordinated by BENET Bioenergy Network of Jyväskylä Science Park Ltd (Finland). Second edition 2002.

(Древесное топливо – базовый пакет информации. Издание пособия координировалось Сетью биоэнергетики BENET компании Йивьяскила Сайэнс Парк Лтд. (Финляндия). Второе издание, 2002)

Richardson J., Björheden R., Hakkila P., Lowe A.T., Smith C.T. **Bioenergy from Sustainable Forestry — Guiding Principles and Practice.** Forestry Sciences Volume 71. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. Dordrecht, 2002. ISBN 1-4020-0676-4.

(Ричардсон Дж., Бйорхеден Р., Хаккила П., Лоуи А.Т., Смит С.Т. Получение биоэнергии при рациональном ведении лесного хозяйства. «Форестри Сайенсиз». Т 71. Клувер Академик паблишиз, Нидерланды, Дордрехт. 2002. ISBN 1-4020-0676-4.)

Hakkila P. **Developing technology for large-scale production of forest chips.** Wood Energy Technology Programme 1999-2003. Technology Programme Report 6/2004. TEKES, Helsinki, Finland, April 2004. Available from. www.tekes.fi/julkaisut/Wood_Energy_Final.pdf.

(Хаккила П. Разработка технологий широкомасштабного производства древесной щепы. Программа разработки получения энергии из топливной древесины, 1999-2003 гг. 6/2004. TEKES, Финляндия, Хельсинки, 2004. Публикация размещена на вебсайте www.tekes.fi/julkaisut/Wood_Energy_Final.pdf)

Pulkki R.E. **Glossary of forest harvesting terminology**. Available at Forest Harvesting Home Page, Lakehead University, Thunder Bay, Ontario, Canada, URL. flash.lakeheadu.ca/~repulkki/REP_terminology.pdf. Accessed. 9 September 2005.

(Пулкки Р.Е. Словарь терминов лесозаготовительной промышленности. Размещен на странице технологий лесозаготовительных работ, Университет г. Лэйкхед, Тандер Бэй, Онтарио, Канада. Адрес в Интернете: flash.lakeheadu.ca/~repulkki/REP_terminology.pdf. Данные получены 9 сентября 2005.)

Pulkki R.E. **Machine specifications and operating techniques**, Available at Forest Harvesting Home Page, Lakehead University, Thunder Bay, Ontario, Canada, URL. flash.lakeheadu.ca/~repulkki/MachineOperatingSpecs.pdf. Accessed. 9 September 2005.

(Пулкки Р.Е. Технические характеристики и методы эксплуатации машин. Публикация размещена на странице технологий лесозаготовительных работ, Университет г. Лэйкхед, Тандер Бэй, Онтарио, Канада. Адрес в Интернете: flash.lakeheadu.ca/~repulkki/MachineOperatingSpecs.pdf. Данные получены 9 сентября 2005)

Pulkki R.E. **Cut-to-length, tree-length or full tree harvesting?** Available at Forest Harvesting Home Page, Lakehead University, Thunder Bay, Ontario, Canada, URL flash.lakeheadu.ca/~repulkki/ctl_ft.html. Accessed. 9 September 2005.

(Пулкки Р.Е. Заготовка сортиментов заданной длины, хлыстов и целых деревьев. Публикация размещена на странице технологий лесозаготовительных работ. Университет г. Лэйкхед, Тандер Бэй, Онтарио, Канада. Адрес в Интернете: flash.lakeheadu.ca/~repulkki/REP_terminology.pdf. Данные получены 9 сентября 2005)

Laitila J. Finnish / **Cost structures of supply chains in Finland** /Forest Research Institute/ presented at the Northern WoodHeat Symposium, 5-9 June 2005, Joensuu, Finland. Available from www.northernwoodheat.net/htm/news/Finland/Symposiumpres/JLAITILA.pdf.

(Лайтила Й. Структуры стоимости в производственных цепочках поставки в Финляндии. / Доклад на симпозиуме «Выработка теплоты из древесины в северных странах», 5-9 июня 2005 г., Йоенсуу, Финляндия. Размещен на сайте www.northernwoodheat.net/htm/news/Finland/Symposiumpres/JLAITILA.pdf.)

Hakkila P. **Cornerstones of Efficient Supply of Forest Fuels**, presented at the Northern WoodHeat Symposium, 5-9 June 2005, Joensuu, Finland. Available from www.northernwoodheat.net/htm/news/Finland/Symposiumpres/HakkilaCornerstonesofefficientsupplyofforestfuels.pdf.

(Хаккила П. Основные условия эффективных поставок древесного топлива. Доклад на симпозиуме «Выработка теплоты из древесины в северных странах», 5-9 июня 2005 г., Йоенсуу, Финляндия. Размещен на сайте www.northernwoodheat.net/htm/news/Finland/Symposiumpres/JLAITILA.pdf.)

Markku R. Halonen. **Procurement of Forest Energy**, presented at 3rd Forum of the Forest Academy Finland, 15–17 September 2004. Helsinki. Available from www.forestacademy.fi/files/thirdforum/FORAFIN3-MarkkuHalonen.pdf.

(Маркку Р. Халонен. Поставки энергии, производимой из лесного древесного топлива. Доклад на 3-м форуме Лесохозяйственной академии Финляндии, 15-17 сентября 2004 г., Хельсинки. Размещен на сайте www.forestacademy.fi/files/thirdforum/FORAFIN3-MarkkuHalonen.pdf.)

FAO Forestry Department / Wood Energy Programme, Unified Bioenergy Terminology (UBET), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, December 2004. Available from ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/j4504e/j4504e00.pdf.

(Лесохозяйственный отдел ФАО/Программа развития использования энергии из древесины. «Унифицированная терминология по биоэнергии» (УТБ). Организация ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства. Рим, декабрь, 2004. Публикация размещена на сайте ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/j4504e/j4504e00.pdf)

Часть Б: Производство и поставка древесного топлива

Hillring B. **European wood energy markets**. Presented at the 60th session of the UNECE Timber Committee, Geneva, Switzerland, 24-27 September 2003.

(Хилринг Б. Европейские рынки энергии из древесины. Доклад на 60 сессии Комитета по лесоматериалам, Женева, Швейцария, 24-27 сентября 2003.)

National Board of Forestry, **Statistical Yearbook of Forestry 2004 — Official Statistics of Sweden**. Jönköping, 2004.

(Национальный совет по лесному хозяйству. Ежегодный статистический сборник по лесному хозяйству. Официальные статистические данные Швеции. Йонкёпинг, 2004).

STEM, **Prisblad för biobränslen, torv m.m. Nr 1 / 2005**.

C.A.R.M.E.N. website, www.carmen-ev.de

(C.A.R.M.E.N. вебсайт www.carmen-ev.de.)

Приложение 1

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ ПО БИОЭНЕРГИИ И ЛЕСОЗАГОТОВКАМ*

ОБЩАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ

ЛЕСНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ	промышленность, использующая древесину в качестве сырья и осуществляющая маркетинг произведенной продукции
ДРЕВЕСИНА	древесная биомасса в любой форме, включая кору
ЛЕСОМАТЕРИАЛЫ	термин, обозначающий сортименты из круглой древесины и деревьев
ПОСТАВКИ ДРЕВЕСИНЫ	технические и коммерческие операции, осуществленные на заготовке древесины для лесной промышленности, включающие отвод древостоя, закупку леса на корню и древесины

ЭНЕРГИЯ, ПОЛУЧАЕМАЯ ИЗ ЛЕСНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

БИОЭНЕРГИЯ	энергия, получаемая из биомассы
БИОТОПЛИВО	топливо, прямо или косвенно получаемое из биомассы
ТОПЛИВНАЯ ДРЕВЕСИНА (= ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ДРЕВЕСИНА)	любая часть древесной биомассы в любой форме, предназначенная для использования в качестве топлива
ДРОВЯНАЯ ДРЕВЕСИНА	короткомерная расколотая древесина, полученная вручную или с применением методов механической обработки для использования в качестве дров
ЛЕСНОЕ ДРЕВЕСНОЕ ТОПЛИВО	древесное топливо, произведенное из древесного сырья с применением методов механической обработки/переработки, ранее не использовавшееся для других целей
ЛЕСНАЯ ДРЕВЕСИНА	древесная биомасса, заготавливаемая в лесу и/или на участках посадок деревьев
ЭНЕРГИЯ, ПОЛУЧАЕМАЯ ИЗ ЛЕСНОЙ ДРЕВЕСИНЫ	энергия, получаемая из древесного топлива, величина которой соответствует низшей теплотворной способности топлива
СИСТЕМА ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ ИЗ ЛЕСНОЙ ДРЕВЕСИНЫ	все этапы и/или процессы и операции, используемые в производстве, подготовке, транспортировке, маркетинге, закупке/продаже и преобразовании древесного топлива в энергию
ВИДЫ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА	все виды древесного топлива, прямо или косвенно получаемые из древесной биомассы, а также топливо, произведенное из древесины, биотопливо из древесины
ДРЕВЕСНАЯ БИОМАССА	биомасса деревьев и кустарников

ДЕРЕВО И ЧАСТИ ДЕРЕВА

ДЕРЕВО С КОРНЕМ	вся биомасса дерева, т.е. корневая система, пень (корень с пнем), ствол, ветви, кора и листва
ДЕРЕВО	вся биомасса дерева без пнево-корневой древесины (ствол, ветви, кора и листва)
ПОЛНОЕ ДЕРЕВО	вся биомасса дерева без корней (пень, ствол, ветви, кора и листва)
СТВОЛ	основная надземная вертикальная часть дерева; ствол не включает пнево-корневую древесину; ствол, включающий кору, делится на товарную и нетоварную части
СТВОЛОВАЯ ДРЕВЕСИНА	часть ствола дерева, очищенная от ветвей

* По публикациям (а) R.E. Pulkki, 2005, (б) ФАО, 2004 г. и (в) www.dictionary.com

Часть Б: Производство и поставка древесного топлива

КОРА	прочное верхнее покрытие ствола и корней дерева, кустарников и других древесных растений
НЕТОВАРНАЯ ВЕРШИНА	верхняя часть ствола, которая не используется при заготовке древесины из-за малого диаметра и высокой ветвистости; размер нетоварной вершины определяется методами лесозаготовительных операций
КРОНА	верхняя часть дерева, состоящая из ветвей и листьев. Как правило, крона включает все мертвые и живые ветви, а также всю листву и репродуктивные органы
ВЕТВЬ	вторичный древесный ствол, растущий из основного ствола дерева или кустарника. Ветви включают древесину и кору (живых и мертвых ветвей), но не включают листья, хвою, побеги и репродуктивные органы
ДРЕВЕСНАЯ ЗЕЛЕНЬ	листва или хвоя дерева, новые побеги и репродуктивные органы
ПЕнь	неиспользуемая часть ствола, расположенная под нижним срезом товарного ствола и его подземного продолжения, включая стержневой корень (без боковых корней)
ПНЕВО-КОРНЕВАЯ ДРЕВЕСИНА	пень с корневой системой
КОРНИ	подземные части растения, включая все боковые корни, но без стержневого корня
ПОЛНОЕ ЦЕЛОЕ ДЕРЕВО БЕЗ ВЕРШИНЫ	полное дерево без нетоварной вершины (т.е. без вершины, удаленной на участке минимально допустимого диаметра ствола, но с ветвями на его нижней части)
ЧАСТЬ ДЕРЕВА	дерево без пня, нижняя часть которого очищена от сучьев, а верхняя часть отрезана без очистки от сучьев
ХЛЫСТ	очищенное от сучьев дерево с удаленной вершиной
ДЛИННОМЕРНЫЕ ОТРЕЗКИ ХЛЫСТОВ	хлысты, разделанные на длинномерные отрезки произвольной длины
ОТРЕЗОК ДЕРЕВА	часть дерева (с ветвями), которая была отрезана в соответствии с заданной длиной, но не была обработана. Отрезки деревьев могут подвергаться обработке/переработке для использования в качестве балансовой и топливной древесины
БРЕВНО (= ПИЛОВОЧНОЕ БРЕВНО)	часть хлыста, имеющая заданные размеры, определяемые требованиями, например, лесопильного производства или производства фанеры; стандартная длина бревен составляет 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 футов и более плюс допуск на обработку. Допуск на обработку обычно составляет 4 дюйма при длине бревна 8 футов и 8 дюймов при длине бревна 16 футов; допуск на обработку может изменяться в соответствии с назначением бревна*
СОРТИМЕНТ (= БАЛАНС)	отрезок хлыста заданных размеров, определяемых требованиями целлюлозно-бумажного производства и/или производством древесных плит (за исключением производства фанеры), диаметр которого обычно меньше диаметра бревна. Обычно имеет длину 100 дюймов (т.е. 8 футов плюс 4 дюйма допуск на обработку)
КРУГЛЫЙ ЛЕСОМАТЕРИАЛ	лесоматериал, имеющий круглую форму, обычно с корой
РАСКОЛОТАЯ ДРЕВЕСИНА	сортимент (круглый лесоматериал), расщепленный вдоль на две или более частей
ЩЕПА	древесный продукт, полученный из деревьев или любых его частей измельчением, дроблением или фрезерованием. Классификация щепы может осуществляться по виду перерабатываемой древесины, месту переработки или назначению. Например, как щепа из лесосечных отходов, щепа из целых деревьев без пней, щепа из круглых лесоматериалов, щепа из отходов лесопиления, щепа из балансов, щепа из топливной древесины

* 1 фут = 30,48 см; 1 дюйм = 25,4 мм.

Приложение 1. СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ ПО БИОЭНЕРГИИ И ЛЕСОЗАГОТОВКАМ

ЩЕПА ИЗ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ	щепа, полученная из отходов деревообработки с корой или без коры
ЛЕСНАЯ ЩЕПА	лесная древесина в форме щепы
ЗЕЛЕНАЯ ЩЕПА	щепа, полученная из зеленых ветвей, сучьев и вершин от рубок главного пользования или прореживаний
ЩЕПА ИЗ СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ	древесная щепа, полученная из стволовой древесины с корой или без коры
ЩЕПА ИЗ ЦЕЛЫХ ДЕРЕВЬЕВ	древесная щепа, полученная из целых деревьев
ДРЕВЕСНОЕ СЫРЬЕ	биомасса дерева, которая может использоваться в качестве древесного сырья в любой форме (например деревьев, полных деревьев, хлыстов, бревен, щепы)
КРОНА	листва/хвоя дерева + сучья и ветви
МАССА ПНЯ С КОРНЕМ (ПНЕВО-КОРНЕВАЯ ДРЕВЕСИНА)	биомасса дерева, остающаяся под валочным срезом (т.е. пень и корни)
НЕИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДРЕВЕСНЫЕ ОТХОДЫ	вторичное древесное сырье, пригодное для экономически эффективного использования, которое, однако, не используется
НЕИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ОСТАТКИ	древесные отходы, остающиеся в лесу или неиспользуемые на лесопильном предприятии или участке переработки, так как их использование не является экономически эффективным
ОСТАТОЧНЫЙ ДРЕВОСТОЙ	живой древостой, стволы, остающиеся после лесозаготовительных работ
ЛЕСОСЕЧНЫЕ ОТХОДЫ (= ПОРУБОЧНЫЕ ОТХОДЫ)	биомасса, отделенная на лесосеке от заготавливаемых сортиментов при проведении лесозаготовительных работ, состоящая из ветвей, вершин, обломков стволов, пней и тонкомерных деревьев, которые оставляют на корню или вырубает при проведении рубок. Включает неиспользуемые древесные отходы и остатки
ОТХОДЫ ЛЕСОПИЛЕНИЯ	древесный материал, получаемый на деревообрабатывающих предприятиях кроме основной продукции
ЛЕСОСЕЧНЫЕ ОСТАТКИ	весь объем биомассы, кроме сортиментов, остающийся в лесу при проведении лесоводческих или лесозаготовительных работ, который включает деревья, вырубленные при производстве работ по уходу за саженцами на предпромышленных рубках прореживания
ЛЕСОСЕЧНЫЕ ОСТАТКИ ОТ РУБОК ПРОРЕЖИВАНИЯ	древесные отходы от рубок прореживания
СУЧКОВАТОСТЬ	характеристика, определяющая число сучьев в подвергшейся механической обработке древесине
ВЕТВИСТОСТЬ	характеристика, определяющая количество ветвей (сучьев) дерева

ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

ЛЕСОЗАГОТОВКА	технологические операции, осуществляемые с целью доставки древесины из леса к месту ее использования
ЛЕСОЗАГОТОВКА ПОД ПОСТАВКУ	заготовка древесины по договору продажи, осуществляемая продавцом
ЛЕСОЗАГОТОВКА ПОД ПОСТАВКУ НА КОРНЮ	заготовка древесины по договору продажи, осуществляемая покупателем
СИСТЕМА ЛЕСОЗАГОТОВОК	основана на использовании инструментов, машин и персонала, предназначенных для проведения лесозаготовительных работ на лесосеке

Часть Б: Производство и поставка древесного топлива

МЕТОД ЛЕСОЗАГОТОВКИ	предусматривает заготовку древесины в виде, в котором она должна доставляться к лесной дороге; определяется количеством операций, выполняемых на лесосеке
МЕТОД ЗАГОТОВКИ ДЕРЕВЬЕВ С КОРНЕМ	метод заготовки леса, предусматривающий транспортировку всей биомассы дерева, включая крупные корни, к лесовозной дороге без обработки
МЕТОД ЗАГОТОВКИ ПОЛНЫХ ДЕРЕВЬЕВ	метод заготовки леса, предусматривающий транспортировку всей биомассы дерева (без корней) к лесовозной дороге без обработки
МЕТОД ЗАГОТОВКИ ДЕРЕВЬЕВ	метод заготовки леса, предусматривающий транспортировку всей биомассы дерева над валочным срезом (т.е. над пнем) к лесовозной дороге без обработки
МЕТОД ЗАГОТОВКИ ДЕРЕВЬЕВ БЕЗ ВЕРШИН	метод заготовки леса, предусматривающий обрезку вершин и их транспортировку с оставшимися ветвями к лесовозной дороге без обработки
МЕТОД ЗАГОТОВКИ ЧАСТЕЙ ДЕРЕВЬЕВ	метод заготовки частей деревьев, нижние части стволов которых, пригодные для выпилки бревен, очищаются от сучьев и раскряжевываются, а верхние части стволов отрезаются без очистки от сучьев
МЕТОД ЗАГОТОВКИ ХЛЫСТОВ	метод заготовки леса, предусматривающий транспортировку очищенных от сучьев деревьев без вершины к лесовозной дороге или далее без обработки
МЕТОД ЗАГОТОВКИ ДЛИННОМЕРНЫХ ОТРЕЗКОВ ХЛЫСТОВ	метод заготовки леса, предусматривающий разделку хлыстов на длинномерные отрезки произвольной длины и их транспортировку к лесовозной дороге, где может осуществляться их разделка на сортименты
МЕТОД ЗАГОТОВКИ СОРТИМЕНТОВ	метод заготовки леса, предусматривающий раскряжевку деревьев на сортименты у пня и их транспортировку к лесовозной дороге
МЕТОД ЗАГОТОВКИ БАЛАНСОВ	метод, аналогичный методу заготовки сортиментов, отличающийся от него только тем, что раскряжевка на сортименты производится в основном с целью получения балансовой древесины

ЛЕСОСЕКА

ЛЕСОСЕКА	участок леса или древостоя с обозначенными границами, предназначенный для рубки
РАЗМЕТКА	нанесение меток на деревья, подлежащие валке. Тип разметки определяют в зависимости от того, какой метод разметки применяется, кто ее осуществляет или что размечают: например, разметка цветом (краской или лентой), топором, для прореживания, разметка вальщиком, разметка бревен, отрезков и т.д.
(ЛЕСОСЕЧНЫЙ) ВОЛОК	участок лесосеки, подготовленный для работы вальщика, лесозаготовительной машины или рабочей бригады
УС	первичный транспортный путь, предназначенный для передвижения транспортных средств, очищенный от деревьев и других препятствий, на котором при необходимости осуществляется планировка
ВОЛОК (ПРОСЕКА)	первичный транспортный путь на лесосеке, очищенный от деревьев, затрудняющих передвижение лесозаготовительных машин

ВАЛКА ДЕРЕВЬЕВ

РУБКА ДЕРЕВЬЕВ	валка деревьев и их раскряжевка на сортименты на лесосеке, а также другие операции (например, разметка куч/штабелей, пакетирование и штабелевка)
ВАЛКА	отделение дерева от пня на месте произрастания
НАПРАВЛЕННАЯ ВАЛКА	подготовленная валка деревьев в заданном направлении, которая облегчает выполнение последующих операций. Например, валка деревьев в направлении движения форвардера при заготовке сортиментов уменьшает расстояние перемещения сортиментов при их пакетировании на обочине волока
ОЧИСТКА ОТ СУЧЬЕВ	очистка от ветвей поваленных деревьев, деревьев, намеченных к валке, и частей деревьев; эту операцию также называют обрезкой или обрубкой сучьев
ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАМЕРОВ	определение мест раскряжевки по длине ствола с учетом требований к размерам и качеству материалов
РАСКРЯЖЕВКА	разделка сваленных целых деревьев или частей деревьев на отрезки заданной длины (сортименты); эту операцию также называют поперечной распиловкой
КОММЕРЧЕСКАЯ РАЗДЕЛКА	поперечная раскряжевка ствола на отрезки определенной длины, качество древесины которых максимизирует их стоимость
ОБРЕЗКА ВЕРШИН	отделение верхней части дерева, диаметр которого меньше минимального диаметра товарной древесины
РАСПИЛОВКА	механическая поперечная распиловка деревьев или их частей на верхнем складе или участке переработки древесины (возможна групповая распиловка)
РАСКАЛЫВАНИЕ	разрубка или разрезка вдоль древесных волокон
ОКОРКА	очистка от коры деревьев или частей деревьев
ПЕРЕРАБОТКА В ЩЕПУ	производство щепы
УКЛАДКА	сбор и укладка стволов и частей стволов в штабели/кучи на волоке. В зависимости от того, где по отношению к первичному транспортному пути осуществляется штабелевка, ее можно далее классифицировать, например, как пакетирование у пня, на обочине волока, зональное пакетирование
ВЫРАВНИВАНИЕ	метод укладки, предусматривающий укладку сортиментов, полученных из деревьев, валка которых осуществлялась методом направленной валки, рядом с бревнами в соответствии с установленной процедурой пакетирования
СОТИРОВКА	распределение сортиментов на группы в соответствии с их характеристиками
ШТАБЕЛЕВКА	укладка сортиментов в штабели
ПОПЕРЕЧНАЯ ШТАБЕЛЕВКА	укладка лесоматериалов таким образом, чтобы каждый последующий ряд располагался перпендикулярно к предыдущему ряду

ХРАНЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ

ХРАНЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ	хранение древесного сырья на различных этапах процесса поставки древесины. Методы включают хранение в штабелях, пачках, в виде груза (например, в автоприцепе), в кучах, в форме распределенных запасов, в форме древостоя
ЗАПАСЫ В ДРЕВОСТОЕ	лесосечный участок, отведенный под валку
СКЛАД В ЛЕСУ	участок в лесу, на котором осуществляется складирование и хранение древесины после ее первичной (лесной) транспортировки
ВЕРХНИЙ СКЛАД	участок леса у лесовозной дороги, оборудованный для обслуживания лесовозного транспорта

Часть Б: Производство и поставка древесного топлива

ПРОМЕЖУТОЧНОЕ ХРАНЕНИЕ	любой участок, расположенный по маршруту следования лесовозных транспортных средств, предназначенный для хранения и дальнейшей перевозки грузов, между лесным/верхним складом и лесопильным заводом. Склад промежуточного хранения может размещаться у автомобильных дорог, железнодорожных магистралей или водных путей
ШТАБЕЛЬ	лесоматериалы, как правило, равной длины, уложенные в одном направлении до заданной высоты, часто на опорах, установленных у концов штабеля
ШТАБЕЛЬ С ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНОЙ УКЛАДКОЙ	штабель, в котором каждый последующий ряд укладывается перпендикулярно к предыдущему ряду, как правило, для обеспечения более компактной укладки или лучшего подсушивания
ПАЧКА	связка деревьев, частей деревьев, бревен, сортиментов и т.д.
КУЧА	неупорядоченные лесоматериалы, уложенные навалом

ТРАНСПОРТИРОВКА ДРЕВЕСИНЫ

ПЕРВИЧНАЯ ТРАНСПОРТИРОВКА	транспортировка от пня до магистральной лесовозной трассы (как правило, лесовозной дороги). Методы и виды первичной транспортировки включают транспортировку в лесу, определяемую по типу территории, внедорожную транспортировку, определяемую по типу пути, трелевку волоком, трелевку в погруженном положении и т.д.
ТРЕЛЕВКА ВОЛОКОМ	транспортировка волоком деревьев или частей деревьев, частично или полностью соприкасающихся с поверхностью земли
ТРЕЛЕВКА В ПОГРУЖЕННОМ ПОЛОЖЕНИИ	транспортировка на внедорожном транспортном средстве без соприкосновения деревьев с поверхностью земли
КАНАТНАЯ (ТРОСОВАЯ) ТРЕЛЕВКА	транспортировка лесоматериалов канатами полностью или частично над поверхностью земли
УДЛИНЕННАЯ ПЕРВИЧНАЯ ТРАНСПОРТИРОВКА (= ТРАНСПОРТИРОВКА НА КОРОТКИЕ РАССТОЯНИЯ)	транспортировка, осуществляемая одним транспортным средством, начинающаяся у пня и продолжающаяся по магистральной лесовозной дороге до места использования лесоматериалов или до промежуточного склада, расположенного по ходу следования: например, транспортировка может быть продолжена по дороге до железной дороги или водным путем
ТРАНСПОРТИРОВКА В ОБА КОНЦА	вид транспортировки, предусматривающий использование одного транспортного средства для транспортировки грузов в обоих направлениях, которую также называют прямой/обратной транспортировкой
ТРАНСПОРТИРОВКА НА ДАЛЬНИЕ РАССТОЯНИЯ (= ВТОРИЧНАЯ ТРАНСПОРТИРОВКА)	транспортировка, осуществляемая после первичной транспортировки с лесосеки до места использования лесоматериалов, которая может состоять из одного или нескольких этапов: например, транспортировка лесовозом от верхнего склада до лесопильного завода, лесовозом от верхнего склада до железной дороги или водного пути; доставка готовых изделий к месту сбыта также является транспортировкой на дальние расстояния. Основные методы транспортировки на дальние расстояния включают транспортировку по автомобильной дороге, по железной дороге и водным путям
ПОГРУЗКА	перемещение деревьев с земли, автомобильного, железнодорожного или водного транспортного средства на другое транспортное средство
ПАКЕТИРОВАНИЕ НА ТРАНСПОРТНОМ СРЕДСТВЕ	увязка деревьев или частей деревьев в пачки в пределах грузового пространства транспортного средства для дальнейшей транспортировки (например, сплава) или погрузки/разгрузки

ПЕРВИЧНАЯ И ВТОРИЧНАЯ ТРАНСПОРТИРОВКА. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ



ВИДЫ ОБОРУДОВАНИЯ. ТЕРМИНОЛОГИЯ

ВАЛОЧНО-ПАКЕТИРУЮЩАЯ МАШИНА	самоходная машина, предназначенная для валки деревьев и формирования из них пачек или валков
ВАЛОЧНАЯ ГОЛОВКА	устройство, устанавливаемое на рукоять манипулятора, предназначенную для валки деревьев с применением одного из следующих методов срезания деревьев: ножевым механизмом, цепной пилой, дисковой пилой, конической пилой, винтовым режущим устройством
МНОГООПЕРАЦИОННАЯ МАШИНА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ	не предназначенная для валки деревьев самоходная или передвижная машина, обычно используемая на лесосеке, выполняющая не менее двух операций по обработке лесоматериалов (например, очистку от сучьев, обрезку вершин или раскряжку)
ОБРАБАТЫВАЮЩАЯ ГОЛОВКА	устройство, предназначенное для обработки лесоматериалов, устанавливаемое на рукоять шарнирного манипулятора, которая может перемещаться относительно деревьев или частей деревьев в процессе их обработки
ГРУППОВАЯ (ПАЧКОВАЯ) ОБРАБОТКА ДЕРЕВЬЕВ	одновременная обработка одного или нескольких деревьев или частей деревьев: например, групповая очистка деревьев от сучьев (цепной сучкорезной машиной) или групповая окорка сортиментов (например, в барабанной окорочной машине)

Часть Б: Производство и поставка древесного топлива

ВАЛОЧНОЕ ПАЧКОВОЕ УСТРОЙСТВО (С НАКОПЛЕНИЕМ СРЕЗАННЫХ ДЕРЕВЬЕВ)	головка, устанавливаемая на лесозаготовительную машину, позволяющая осуществлять валку и перемещение нескольких деревьев за одну операцию
ХАРВЕСТЕР	самоходная машина, осуществляющая валку деревьев и выполняющая не менее двух операций по обработке древесины (обрезку сучьев и раскряжевку)
ОДНОЗАХВАТНЫЙ ХАРВЕСТЕР	харвестер, осуществляющий операции валки, очистки от сучьев, обрезки вершин и, как правило, раскряжевки с использованием одной харвестерной головки (т.е. за один захват дерева)
ДВУХЗАХВАТНЫЙ ХАРВЕСТЕР	харвестер, осуществляющий валку и перемещение дерева на отдельную установку по обработке лесоматериалов для очистки от сучьев, обрезки вершин и в большинстве случаев раскряжевки на сортименты
ГОЛОВКА ХАРВЕСТЕРА	валочно-сучкорезно-раскряжевное устройство, устанавливаемое на конечную часть манипулятора, которое может перемещаться относительно ствола деревьев. Является валочно-обрабатывающим элементом однозахватного харвестера
ЛЕСНОЙ ТРАКТОР	самоходное колесное или гусеничное транспортное средство, используемое в лесном хозяйстве, в основном для перевозки или трелевки лесоматериалов (деревьев)
ФОРВАРДЕР	колесный лесной трактор, как правило, самозагружающийся, осуществляющий трелевку лесоматериалов в полностью погруженном положении (без соприкосновения с землей)
ТРЕЛЕВОЧНЫЙ ТРАКТОР	лесной трактор, осуществляющий трелевку груза лесоматериалов частично в погруженном положении и частично волоком
ТРЕЛЕВОЧНЫЙ ТРАКТОР С ЛЕБЕДКОЙ	трелевочный трактор, использующий канат и чокерные замки для сбора, крепления и транспортировки (частично) груза
ТРЕЛЕВОЧНЫЙ ТРАКТОР С ПАЧКОВЫМ ЗАХВАТОМ	трелевочный трактор с большим подвесным захватом (раскрывающимся книзу), предназначенным для подбора (подъема) и крепления груза
ГРЕЙФЕРНЫЙ ТРЕЛЕВОЧНЫЙ ТРАКТОР ДЛЯ БЕСЧОКЕРНОЙ ТРЕЛЕВКИ	трелевочный трактор, конструкция которого включает манипулятор, предназначенный для подъема деревьев и частей деревьев и их погрузки в перевернутый грейферный ковш, удерживающий груз при трелевке
СУЧКОРЕЗНАЯ МАШИНА	самоходная или передвижная машина, предназначенная для очистки от ветвей деревьев или частей деревьев. Дальнейшая классификация может осуществляться по принципу работы и/или типу конструкции машины: например, цепная сучкорезная машина ударного действия (цепной сучкорез), охватывающая ножевая сучкорезная машина, сучкорезная машина с фрезерной головкой, сучкорезная машина с периодической подачей, барабанная сучкорезная машина, сучкорезная машина с механической загрузкой
РАСКРЯЖЕВОЧНАЯ МАШИНА	самоходная, передвижная или стационарная машина, используемая на верхнем складе, участках промежуточного хранения и лесопильных заводах для раскряжевки деревьев или частей деревьев на отрезки заданной длины
ОКОРОЧНАЯ МАШИНА	машина, предназначенная для снятия коры с деревьев и частей деревьев
РУБИТЕЛЬНАЯ МАШИНА	машина, предназначенная для переработки на щепу деревьев и частей деревьев. Дальнейшая классификация может осуществляться по методу производства щепы, месту производства щепы и типу (размерам) щепы: например, барабанная рубительная машина, дисковая рубительная машина, рубительная машина с коническим шнеком, ножевая рубительная машина, молотковая рубительная машина (дробилка), лесная рубительная машина, рубительная машина с загрузкой кусков

Приложение 1. СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ ПО БИОЭНЕРГИИ И ЛЕСОЗАГОТОВКАМ

ПОГРУЗЧИК	машина, включающая погрузочное устройство и шасси, предназначенная для погрузки и выгрузки древесины из транспортных средств. Дальнейшая классификация может осуществляться по принципу работы и/или конструкции машины: например, фронтальный погрузчик, погрузчик с шарнирным манипулятором, погрузчик с телескопическим манипулятором, погрузчик с манипулятором и погрузочным тросом, вертикальный погрузчик для бревен, крановый погрузчик (кран)
КАНАТНАЯ (ТРОСОВАЯ) ТРЕЛЕВОЧНАЯ МАШИНА	самоходная или передвижная машина, включающая систему лебедок с механическим приводом, предназначенная для трелевки деревьев или их частей на лесосклад с помощью смонтированного на машине или отдельного башенного (мачтового) устройства, осуществляющего подъем груза
ПОГРУЗОЧНОЕ УСТРОЙСТВО ПОГРУЗЧИКА	рабочий орган погрузчика, который часто также называют погрузчиком. Конструкция погрузочного устройства с шарнирным манипулятором включает следующие элементы: опорную стойку (башню), стрелу, телескопический манипулятор, поворотное устройство захвата, заднюю стрелу, захват
ЗАХВАТ	подвижный элемент машины (устройства), предназначенный для захвата лесоматериалов, как правило, осуществляемого сверху
ГРЕЙФЕР	грузозахватное приспособление, предназначенное для погрузки, выгрузки и/или перемещения как отдельных, так и группы лесоматериалов. Захват производится путем зажимания лесоматериала поворотными челюстями для его перемещения на неподвижные опоры или накопитель
ПАКЕТИРОВОЧНАЯ МАШИНА ДЛЯ ПАКЕТИРОВАНИЯ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ	машина, предназначенная для формирования тюков смешанных лесосечных отходов посредством обжима зеленых лесосечных отходов

ХАРАКТЕРИСТИКИ МАШИННОГО ВРЕМЕНИ

ПЛАНОВЫЕ МАШИНО-ЧАСЫ	ПМЧ: плановое количество часов работы машины
ДОСТУПНЫЕ МАШИНО-ЧАСЫ	ДМЧ: количество часов готовности машины к выполнению рабочих операций (равно ПМЧ за вычетом времени ремонта и внутрисменного обслуживания)
ЭФФЕКТИВНЫЕ (ПОЛЕЗНЫЕ) МАШИНО-ЧАСЫ	ЭМЧ: количество часов действительного выполнения машиной рабочих операций (т.е. ДМЧ за вычетом времени задержек и внутрисменного перемещения)
ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ГОТОВНОСТЬ МАШИНЫ	количество ПМЧ, когда машина находится в состоянии эксплуатационной готовности к выполнению рабочих операций (ДМЧ/ ПМЧ)
КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАШИНЫ	количество ЭМЧ, когда машина действительно выполняет рабочие операции, для осуществления которых она предназначена (ЭМЧ/ ПМЧ)

Приложение 2

МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЛЕСОЗАГОТОВКИ*

В настоящем приложении дается краткое описание методов заготовок хлыстов, сортиментов и целых деревьев и осуществляется общее сравнение этих методов.

МЕТОДЫ ЛЕСОЗАГОТОВОК

Метод лесозаготовки определяет вид древесины, которую доставляют к подъездной дороге лесосеки, и зависит от количества обрабатываемых операций (например, очистка от сучьев, раскряжевка, окорка, производство щепы), выполняемых на лесосеке. Выбор метода и системы лесозаготовки зависит от вида древесины, поставляемой на предприятие заказчика. Существуют следующие методы заготовок.

Заготовка сортиментов (коротья) — осуществляются валка (высота пня должна быть менее половины диаметра торца ствола), очистка от сучьев и раскряжевка хлыстов на различные сортименты (балансы, пиловочные бревна, сортименты для производства фанеры и т.д.) непосредственно на месте рубки (у пня). В древостоях мягких пород можно производить обрезку вершин на участке ствола диаметром до 5 см, при этом сучья и вершины оставляют в валках или распределяют по лесосеке. Процесс валки может быть полностью механизирован или осуществляться с применением моторно-ручного инструмента. Внедорожная транспортировка сортимента осуществляется в основном на форвардерах (т.е. без соприкосновения лесоматериалов с землей); иногда также используются трелевочные тракторы для канатной трелевки. Метод заготовки сортиментов может использоваться во всех лесоводческих/лесохозяйственных операциях (например, сплошнолесосечных рубках, рубках прореживания, выборочной селекционной рубке отдельных деревьев). Обустройство верхних складов является минимальным, так как все работы по обработке/переработке древесины выполняются на лесосеке, а у лесовозной дороги можно производить укладку высоких штабелей/куч лесоматериалов. Этот метод также повышает качество сортировки и хранения различных сортиментов. При трелевке лесоматериалов без соприкосновения с землей значительно ниже вероятность их повреждения и загрязнения землей по сравнению с методом заготовки деревьев и особенно методом заготовки хлыстов. Метод заготовки сортиментов может применяться даже в случае, когда лесные запасы являются минимальными (например, при проведении лесозаготовок без межоперационных запасов лесоматериалов).

Заготовка хлыстов — на лесосеке осуществляются валка, очистка от сучьев и обрезка вершин деревьев. Очистка от сучьев и обрезка вершин могут производиться у пня или на участке до лесовозной дороги. Лесосечные отходы распределяются по лесосеке. В древостоях мягких пород можно производить обрезку вершин на участке ствола диаметром до 5 см, однако обрезка, как правило, производится на участке ствола диаметром от 7 до 10 см. В основном деревья перевозятся к лесовозной дороге с помощью трелевочных тракторов с пачковыми захватами или тракторов, предназначенных для канатной трелевки. Некоторые операции осуществляются также с использованием гусеничных тракторов и трелевочных тракторов для бесчokerной трелевки. Хлысты раскряжевываются на балансы на верхнем складе или транспортируются в неразделанном виде на предприятие заказчика. Метод заготовки хлыстов наиболее приемлем для использования на сплошнолесосечных рубках, но также может применяться и при прореживании рядов древостоя. Требования к обустройству верхнего склада значительно выше, чем при использовании метода заготовки сортиментов.

Заготовка деревьев — осуществляется валка деревьев и их транспортировка с ветвями и вершинами на верхний склад. Деревья перевозятся к лесовозной дороге с

* По публикациям (а) R.E. Pulkki.

помощью трелевочных тракторов с пачковыми захватами или трелевочных тракторов с канатной оснасткой. Деревья подвергаются обработке/переработке на верхнем складе или транспортируются на участки централизованной обработки или лесопильные заводы. Обработка/переработка на верхнем складе может включать следующие операции:

- переработку в щепу целых деревьев и ее транспортировку на предприятие заказчика;
- очистку от сучьев, обрезку вершин и раскряжевку на сортименты для последующей транспортировки балансов на целлюлозно-бумажные предприятия, предприятия по производству древесных плит или бревен на лесопильные и другие деревообрабатывающие предприятия;
- очистку от сучьев-окорку-переработку в щепу с помощью цепных машин ударного действия с целью получения чистой щепы, предназначенной для транспортировки на целлюлозно-бумажные предприятия или предприятия по производству древесных плит.

При использовании метода заготовки деревьев сучья, вершины, лесосечные отходы и, в случае применения цепной окорочно-сучкорезно-рубительной машины ударного действия, также и кора укладываются на верхнем складе в кучи, подлежащие вывозу. Лесосечные отходы могут быть собраны в кучи и сожжены или оставлены для естественного разложения. Лесосечные отходы и мульча от переработки древесины на окорочно-сучкорезно-рубительной машине также могут быть возвращены на лесосеку и распределены по ее территории. Метод заготовки деревьев наиболее приемлем для применения на сплошнолесосечных рубках, но также может быть использован и при проведении первых промышленных прореживаний, при которых лесоматериалы транспортируются на верхний склад с помощью форвардера. Этот метод предъявляет наиболее высокие требования к обустройству верхнего склада.

Заготовка полных деревьев — деревья с пнем (без корней) трелюются на верхний склад для обработки/переработки и использования по назначению.

Заготовка деревьев с корнями — целые деревья с основными корнями трелюются на верхний склад для обработки/переработки и использования по назначению.

СИСТЕМЫ ЛЕСОЗАГОТОВОК

В системе лесозаготовок применяются инструменты, механизмы и машины, предназначенные для осуществления лесозаготовительных работ на отведенном участке. Отдельные компоненты системы можно изменять без изменения методов лесозаготовки (т.е. методов валки и доставки лесоматериалов к лесовозной дороге). В типовой системе заготовки сортиментов заданной длины могут использоваться однозахватный харвестер, осуществляющий валку, обрезку сучьев и раскряжевку деревьев у пня, и форвардер, транспортирующий балансы и сортименты к лесовозной дороге. При заготовке хлыстов стандартный метод включает валку деревьев с помощью ручного моторного инструмента (бензопилы), обрезку сучьев и вершин, трелевку к лесовозной дороге и разделку у лесовозной дороги. В типовой системе заготовки деревьев используются валочно-пакетирующая машина, трелевочный трактор с пачковым захватом, сучкорезная машина ударного действия и раскряжевочная машина.

СОСТАВ И ПРИМЕНЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

В таблице 1 приведен состав оборудования для каждого из трех методов. Как можно видеть из приведенных данных, наиболее универсальными являются система и методы заготовки сортиментов. В настоящее время системы заготовки сортиментов используются почти в 100% случаев производства лесозаготовительных работ в североевропейских странах, так как:

Часть Б: Производство и поставка древесного топлива

- лесосеки имеют небольшую площадь (например, <2 га) и расположены в различных районах;
- верхний склад имеет минимальные размеры;
- используются узкие полосы отвода дорог;
- существует потребность в использовании оборудования для проведения селекционного прореживания с вырубкой отдельных деревьев, выборочных рубок и семенно-лесосечных рубок;
- во многих случаях обеспечивается минимальная степень повреждения (<2%) остающегося на доращивание древостоя при несплошных рубках (например, промышленных рубках прореживания, выборочных рубках);
- удовлетворяется требование защиты участков развитого лесовозобновления при удалении верхнего яруса при семенно-лесосечных рубках и выборочных рубках;
- минимизируется воздействие работ на лесосечный участок.

Таблица 1. Состав оборудования и характеристики основных методов лесозаготовок

Характеристика	Сортименты	Хлысты	Деревья
Валочное оборудование	Бензопила	Бензопила	Бензопила
	Однозахватный харвестер	Валочно-пакетирующая машина	Валочно-пакетирующая машина
	Двухзахватный харвестер	Однозахватный харвестер	
		Двухзахватный харвестер	
Внедорожное трелевочное оборудование	Форвардер	Трелевочный трактор с канатной оснасткой	
	Трелевочный трактор с канатной оснасткой (ограниченное применение)	Трелевочный трактор с пачковым захватом	
		Грейферный трелевочный трактор для бесчokerной трелевки	
		Канатная трелевочная лебедка	
Место обрезки сучьев и вершин	У пня	У пня	У дороги
		На лесосеке	Обрезка не производится
Место раскряжевки	У пня	У пня	У лесовозной дороги
		Лесной склад	Центральный склад
		Лесопильный завод	Лесопильный завод
		В лесу раскряжевка не производится	В лесу раскряжевка не производится
Распределение отходов	Равномерное	Равномерное, кучи у лесовозной дороги	–
	Небольшие валки	Мелкие кучи	Отходы отсутствуют
Площадь верхнего склада	Малая	Средняя	Большая
Максимальное эффективное расстояние транспортировки вне дороги (по прямой линии)	600 м	Трелевочные тракторы с канатной оснасткой и трелевочные тракторы с пачковым захватом — 300 м	
		Грейферные трелевочные тракторы для бесчokerной трелевки — 600 м	

Приложение 2. МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЛЕСОЗАГОТОВКИ

Требования к характеристикам подъездной дороги	8,3 м/га	Трелевочные тракторы с канатной оснасткой и трелевочные тракторы с пачковым захватом — 16,7 м/га	
		Грейферные трелевочные тракторы для бесчokerной трелевки — 8,3 м/га	
Интенсивность движения машин на участке	Низкая	Трелевочные тракторы с канатной оснасткой и трелевочные тракторы с пачковым захватом — высокая	
		Грейферные трелевочные тракторы для бесчokerной трелевки — умеренная	
Нарушение почвенного покрова – сухой грунт	Слабое	Умеренное	Сильное
Нарушение почвенного покрова – мерзлый грунт	Минимальное	Слабое	Слабое
Нарушение почвенного покрова – влажный грунт	Умеренное	Сильное	Сильное
Защита оставшихся деревьев и лесовосстановление	Хорошие	Умеренные	Низкие

Оптимальная плотность подъездных дорог в различных системах лесозаготовок (т.е. средняя длина дороги, требуемая для подъезда к участку лесосечных работ) в основном составляет от 8,3 до 16,7 м/га. При плотности подъездных дорог, составляющей 16,7 м/га, максимальная прямая длина расстояния внедорожной транспортировки составляет 300 м, т.е. $10000 / (\text{плотность} \times 2)$. Оптимальное расположение дорог, обеспечивающее максимальное расстояние внедорожной транспортировки, является фактором стоимости эксплуатации трелевочных машин/форвардеров, определяет скорость движения с грузом и без груза, размер груза, объем вывезенного груза на гектар, а также конструкцию подъездных дорог и затраты на техническое обслуживание и ремонт лесозаготовительной техники.

Так как в системах лесозаготовок, использующих трелевочные тракторы с пачковыми захватами и канатной оснасткой, расстояние трелевки обычно не превышает 300 м, они являются достаточно экономичными. Однако часто в системах заготовок деревьев осуществляется строительство чрезмерного числа дорог и плотность подъездных дорог может превысить 30 м/га. Это особенно характерно для лесосек большой площади с объемами лесозаготовительных работ, требующих устройства усов и веток с тем, чтобы обеспечить достаточное число площадок для складирования лесоматериалов.

Экономическая эффективность работы имеющих большую грузоподъемность ($>15 \text{ м}^3/\text{груз}$) грейферных тракторов для бесчokerной трелевки обеспечивается при внедорожной транспортировке лесоматериалов на расстояние более 600 м (8,3 м/га). На участках, где использование трелевочных машин требует устройства отдельного уса, максимально экономичное расстояние транспортировки форвардером может превышать 1200 м. Важно, чтобы форвардер использовался с полной нагрузкой, так как на этом этапе его производительность приблизительно равна производительности однозахватного харвестера. При коротком расстоянии внедорожной транспортировки форвардер работает с неполной нагрузкой, что создает повышенные издержки по устройству дорог. В этом случае теряется основное преимущество системы, состоящее в снижении затрат на устройство дорог и уменьшении площади дорожной сети.

Аналогичным образом при использовании однозахватного харвестера для заготовки хлыстов или обрезки сучьев на лесосеке теряются преимущества, которые имеют как система заготовки деревьев (например, высокие производительность и концентрация операций по обработке/переработке лесоматериалов на верхнем складе), так и система заготовки хлыстов (например, увеличение расстояний внедорожной транспортировки, более чистая древесина, минимальные размеры верхних складов). По этой причине ниже осуществляется сравнение только между традиционной системой заготовки целых деревьев (с валочно-пакетирующей машиной, трелевочным трактором с пачковым захватом, сучкорезной машиной, раскряжевочной машиной) и системой заготовки сортиментов (с однозахватным харвестером, форвардером), используемой для заготовки бревен и балансов.

СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ ЛЕСОЗАГОТОВОК

Система лесозаготовки

с использованием однозахватного харвестера/форвардера

Стандартная производственная единица системы заготовки сортиментов включает харвестер и форвардер. В целом производственные характеристики типовых однозахватного харвестера и форвардера (например, 14 т полезного груза) уравновешены. Предполагается, что форвардер работает с полной нагрузкой (например, при расстоянии транспортировки 600 м). Если форвардер не работает с полной нагрузкой, то теряется одно из основных преимуществ системы, состоящее в меньшей длине дорог на гектар.

Годовая производительность системы лесозаготовки с опытными операторами, работающими в две смены, при среднем объеме деревьев 0,2 м³/га составляет приблизительно 50 000 м³ (т.е. 15 м³/ЭМЧ). В основном, это соответствует годовой производительности лесовоза, осуществляющего транспортировку материалов на расстояние 80–100 км. В северо-европейских странах уровень производительности 60 000 м³ типичен для условий сплошнолесосечных рубок, а при сочетании сплошнолесосечной рубки и частичной рубки (например, прореживания) он составляет от 40 000 до 50 000 м³. Так как компоненты системы уравновешены, в Финляндии и Швеции во многих случаях утром производятся валка и обработка леса, днем лесоматериалы транспортируют к лесовозной дороге и вечером доставляют на лесопильное предприятие.

Основным недостатком харвестера является сложность его конструкции, требующая использования высококвалифицированных операторов. Обучение их стоит дорого, и оператору может понадобиться до двух лет, чтобы полностью освоить управление машиной. Однако большинство из них приобретают достаточную квалификацию в течение нескольких месяцев. Часто утверждают, что опытные операторы валочно-пакетирующих машин не могут стать хорошими операторами харвестера. Однако пока неизвестно о каких-либо исследованиях, подтверждающих эту точку зрения.

Основной проблемой, отмеченной при наблюдении за работой неопытных операторов, является их нежелание использовать полную длину стрелы манипулятора. Во многих случаях они предпочитают подъезжать ближе к деревьям вместо того, чтобы использовать манипулятор, вылет стрелы которого составляет 9–10 м. Это приводит к потерям производительности, так как затрачивается дополнительное время на перемещение и установку машины в необходимое положение. При этом также повышается интенсивность движения техники по лесосеке по сравнению с движением машин по волокам, расположенным с интервалом от 15 до 20 м. Также при работе неопытных операторов возможны зависание груза, падение деревьев на машину, поломка деталей машины и т.д.

Управление однозахватным харвестером требует высокого напряжения. По этой причине при выполнении некоторых работ операторы харвестера и форвардера меняются машинами в середине смены. Это позволяет обеспечить максимальную производительность работы харвестера и снизить отрицательное воздействие работы на машине на здоровье оператора. Другим преимуществом этого метода является то, что операторы осуществляют трелевку заготовленных ими самими лесоматериалов и поэтому должны возлагать ответственность на самих себя за то, что штабеля имеют слишком малые размеры, уложены недостаточно аккуратно или расположены в неудачном месте. При использовании этого метода предполагается, что оба оператора обучены работе на харвестере и что существующий контракт (например, договор с профсоюзом) позволяет применить этот метод работы.

Так как производительность однозахватного харвестера в значительной степени определяется диаметром заготавливаемых деревьев, в настоящее время ведется разработка головок, способных осуществлять валку и обработку нескольких деревьев. Производительность форвардера, способного осуществлять захват нескольких деревьев, в меньшей степени зависит от размеров деревьев. Однако на производительность обеих машин оказывают значительное воздействие размеры заготавливаемых сортиментов. Поэтому следует организовать производство таким образом, чтобы основным видом продукции являлись длиномерные бревна и балансы. В этом случае бревна производятся из стволов, а вершины используются в качестве балансов длиной от 5,1 до 6 м. Производительность как харвестера, так и форвардера значительно снижается при заготовке партии балансов диаметром 100 дюймов.

Другим преимуществом этой системы является то, что можно поддерживать на минимальном уровне буферные запасы между операциями харвестера и форвардера и в то же время обеспечивать эффективное производство работ (т.е. при задержках, вызываемых механическими поломками оборудования или скоплением машин на верхнем складе). Это позволяет осуществлять лесозаготовки без межоперационных запасов лесоматериалов. Также заготовка сортиментов без межоперационных запасов лесоматериалов является важной операцией в зимний период, когда штабеля обработанных лесоматериалов, оставленные на продолжительное время на лесосеке, могут легко затеряться под снегом.

Основным недостатком системы с использованием харвестера и форвардера, разработанной в североевропейских странах, являются ее высокие капитальные издержки.

Традиционная система заготовки деревьев

Традиционная система заготовки деревьев обычно включает 2 валочно-пакетирующие машины, 2 больших трелевочных трактора с пачковыми захватами, 1,5 сучкорезные машины, размещенные на верхнем складе, и 1,5 раскряжевочные машины. Состав оборудования зависит от характеристик лесосеки, времени года, качества используемого оборудования (например, коэффициента технической готовности) и квалификации операторов. Однако в основном указанный состав оборудования является оптимальным.

В большинстве случаев основным фактором, определяющим общую производительность системы, является производительность работы валочно-пакетирующей машины. Средняя годовая производительность валочно-пакетирующей машины при работе в две смены составляет около 90 000 м³, или 180 000 м³ на систему машин. Диаметр деревьев также является важным фактором, оказывающим воздействие на производительность, но не в такой степени, как при работе однозахватного харвестера, так как используется пильная головка непрерывного действия и осуществляется одновременная обработка нескольких деревьев.

Основными производственными преимуществами традиционной системы заготовки деревьев являются надежность оборудования, легкое обучение операторов и наличие оборудования и запасных частей. Еще одно важное преимущество — почти полное отсутствие на лесосеке порубочных остатков и лесосечных отходов. Однако при естественном восстановлении древостоев сосны Банкса и ели черной это становится нежелательным фактором, так как вместе с шишками удаляется естественный запас семян.

Основным производственным недостатком системы является большое число этапов и единиц оборудования. Для эффективной работы системы необходимо иметь буферные запасы между всеми операциями, объем которых должен быть равен объему поставок за период от половины до одной недели. В противном случае поломки оборудования и скопление машин могут вызывать значительные задержки производственного процесса. В системе с однозахватным харвестером/форвардером теоретически заготовленные лесоматериалы могут быть в тот же день поставлены на предприятие заказчика, в то время как в традиционной системе заготовок деревьев период поставки лесоматериалов с момента валки деревьев до доставки лесоматериалов на предприятие заказчика составляет, как правило, не менее четырех недель.

Приложение 3

ОБЗОР ОБОРУДОВАНИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ*

Введение

В процессе производства лесозаготовительных работ образуются лесосечные отходы разных видов, от отдельных веток до целых деревьев различных пород и размеров. Разнообразие размеров и форм представляет потенциальную проблему для пользователя лесосечных отходов.

Транспортировка необработанного материала характеризуется высоким уровнем издержек на единицу продукции из-за относительно низкой объемной плотности транспортируемого материала. Неоднородность сырьевого материала осложняет использование топлива, в особенности это касается оборудования, предназначенного для работы с топливом, и систем контроля процесса горения.

Для уменьшения транспортных издержек необходимо повысить объемную плотность транспортируемого материала, а для повышения эффективности операций, связанных с использованием топлива, и процесса сжигания топлива требуется обеспечить переработку сырья в более однородный материал, имеющий форму частиц. Процесс измельчения позволяет выполнить обе эти задачи.

Измельчение представляет собой «механическую переработку лесной биомассы в имеющий более высокую ценность и более однородный сыпучий материал». Измельчение может осуществляться с помощью острой режущей кромки посредством колки или резки древесины с получением частиц с требуемыми характеристиками (тонкое измельчение, кусковое измельчение) или применяется тупой ударный инструмент, которым обрабатываемый материал дробят или расщепляют с образованием частиц неопределенной формы (дробление, расщепление).

В следующих разделах описывается оборудование, предназначенное для мелкого измельчения, кускового измельчения, дробления и шредерования древесного топлива.

Тонкое измельчение (в рубительной машине)

Тонкое измельчение осуществляется с помощью острых ножей, которые измельчают древесный материал, отщепляя от него мелкие частицы древесины. Длина частиц обычно составляет от 5 до 50 мм, а ширина равна 20% длины. Ножи, осуществляющие измельчение древесины, обычно закрепляются на диске или барабане, которые устанавливаются в дисковой или барабанной рубительных машинах.

Дисковые рубительные машины

Рабочим органом дисковой рубительной машины является тяжелый диск, оснащенный несколькими ножами, установленными радиально, вращающийся со скоростью от 400 до 1000 оборотов в минуту. Измельчаемый материал подается в рубительную машину через загрузочный патрон под углом от 30 до 40° к плоскости диска.

Ножи, вращающиеся с диском в плоскости, расположенной у конца загрузочного стола, по мере поступления материала отделяют куски древесины, из которых в процессе резки образуется щепа. Полученная щепа проходит через прорезы в диске (подножьевые окна), расположенные перед ножами, и эвакуируется по щепопроводу воздушным потоком, создаваемым лопатками, установленными на обратной стороне диска. Раз-

* По публикации С.Р. Mitchell and С.М. Hankin (1993).

мер частиц можно изменять, регулируя угол резания ножей, зазор между ножами и столом, скорости вращения диска и подачи материала. После начала измельчения материала ножи обеспечивают его самозатягивание

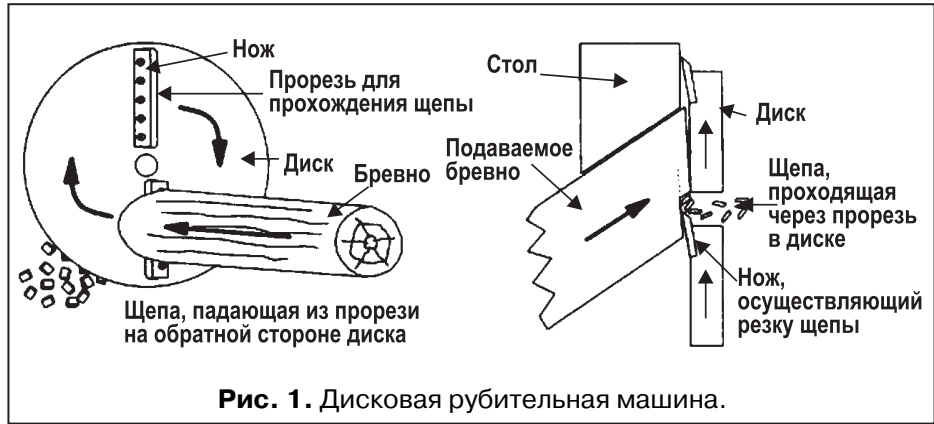


Рис. 1. Дискосвая рубительная машина.

в рабочий орган, однако часто подача материала также осуществляется с помощью подающих валцов, которые при загрузке зажимают подаваемый материал, обеспечивая равномерную подачу и управление процессом измельчения. Менее производительные рубительные машины с ручной подачей сырья, перерабатывающие короткие тонкие отрезки древесного материала, как правило, не оснащаются подающими вальцами, чтобы не повышать стоимость оборудования. При подаче материала в эти машины следует соблюдать меры предосторожности во избежание заклинивания двигателя подающего устройства (рис. 1).

Барабанные рубительные машины

Имеется два типа рубительных машин – с торцевой и боковой подачей перерабатываемого материала, отличающиеся тем, как древесный материал подается к ножам (рис. 2).

Барабанные рубительные машины с боковой подачей перерабатываемого материала требуют равномерной подачи и используются в основном для подготовки лесоматериала на предприятии конечного пользования. В этом случае подаваемым материалом являются круглые бревна, разделанные на отрезки требуемой длины специально для переработки в рубительной машине. Для переработки лесоматериалов произвольной длины в основном используется барабанная рубительная машина с торцевой подачей. В этом случае лесоматериал подается торцом вперед к барабану машины. Ножи, установленные на барабане, осуществляют резку материала перпендикулярно к направлению волокон, отщепляя куски материала по мере его подачи так

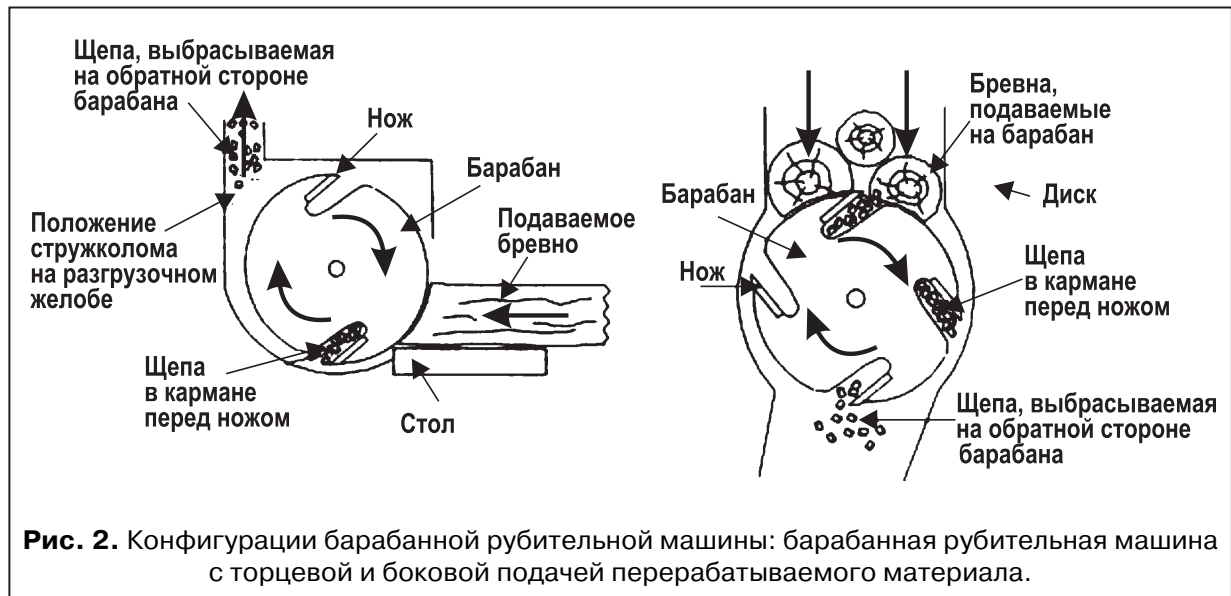


Рис. 2. Конфигурации барабанной рубительной машины: барабанная рубительная машина с торцевой и боковой подачей перерабатываемого материала.

же, как и в дисковой рубительной машине. Отделенные куски измельчаются в щепу, которая поступает в карманы, расположенные перед ножами.

Щепа перемещается в карманах по периметру вращающегося барабана и выбрасывается с противоположной стороны отверстия подачи. Поступившая на заднюю часть барабана щепа либо эвакуируется потоком воздуха через щеповод, либо удаляется на транспортере из нижней части машины. Длину щепы можно устанавливать, регулируя положение стола и ножей. В рубительной машине этого типа режущие ножи обеспечивают более быструю самоподачу материала, что требует использования подающих вальцов, позволяющих контролировать скорость подачи материала.

Сравнение барабанных и дисковых рубительных машин

Дисковая рубительная машина, имеющая постоянный угол резания, позволяет получить более качественную щепу, чем барабанная. Однако размеры диска и площадь резания этой машины ограничивают размеры подаваемого материала. Поэтому она более приемлема для переработки на щепу деревьев или бревен. Переработка на щепу лесосечных отходов с неравномерной подачей материала или тонкомерных деревьев с высокой ветвистостью требует большей площади подачи, которую обеспечивает барабанная рубительная машина, хотя она имеет больший вес и ее эксплуатация требует более высоких инвестиционных затрат и затрат на обслуживание и ремонт (рис. 3).

Оба типа рубительных машин, подтягивая материал к рабочему органу по мере его обработки, в определенной степени обеспечивают самоподачу, скорость которой необходимо контролировать с помощью подающего механизма с тем, чтобы не допустить подачи чрезмерного количества материала и замедления работы диска или барабана. При этом лопатки, установленные на диске или барабане, не будут успевать эвакуировать щепу по щеповоду, которая, накапливаясь, будет его забивать. В этом случае рубительную машину останавливают и прочищают перед возобновлением работы. В случае частого засорения время, затраченное на прочистку, резко снижает ее производительность. Большинство машин оснащаются автоматическими устройствами контроля скорости подачи, которые регистрируют снижение скорости диска/барабана и отключают механизм подачи до засорения машины. После восстановления нормальной скорости диска/барабана осуществляется включение подающего устройства и возобновляется процесс переработки. Подающие устройства, имеющие различную конструкцию в зависимости от применения, могут включать следующие элементы:

- пары вальцов с шипами или пальцами, которые могут смыкаться, сжимая и захватывая обрабатываемый материал;
- подающие воронки или столы, по которым материал направляется к диску/барабану;
- транспортеры, которые могут использоваться совместно с воронкой или столом для перемещения материала внутрь машины по направлению к рубительному органу.

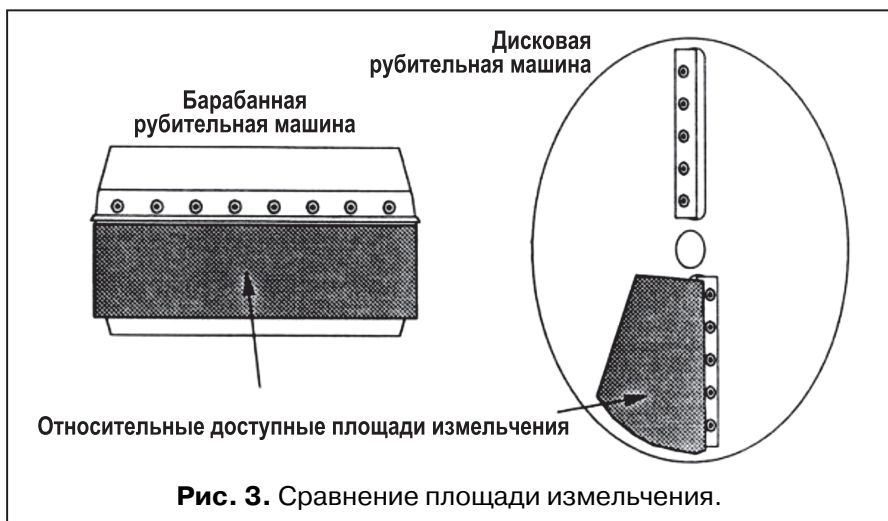


Рис. 3. Сравнение площади измельчения.

Оборудование по производству щепы может быть стационарно установлено на перерабатывающем предприятии для выработки больших объемов щепы, но часто используется оборудование меньшей мощности, монтируемое на транспортных средствах, что позволяет перемещать его с объекта на объект и осуществлять переработку лесоматериалов на щепу на месте производства работ. Такими транспортными средствами могут быть автоприцепы, переоборудованные грузовые автомобили, транспортные средства специального назначения, способные передвигаться по пересеченной лесной местности и перерабатывать на щепу деревья или лесосечные отходы в местах их складирования.

Кусковое измельчение

При кусковом измельчении вырабатываются более крупные частицы диаметром от 50 до 250 мм, имеющие приблизительно равную длину, но различную площадь поперечного сечения. Эти частицы также получают с помощью острых ножей, но зависимость между скоростью подачи и скоростью вращения ножей при кусковом измельчении значительно более тесная, чем в рубительных машинах.

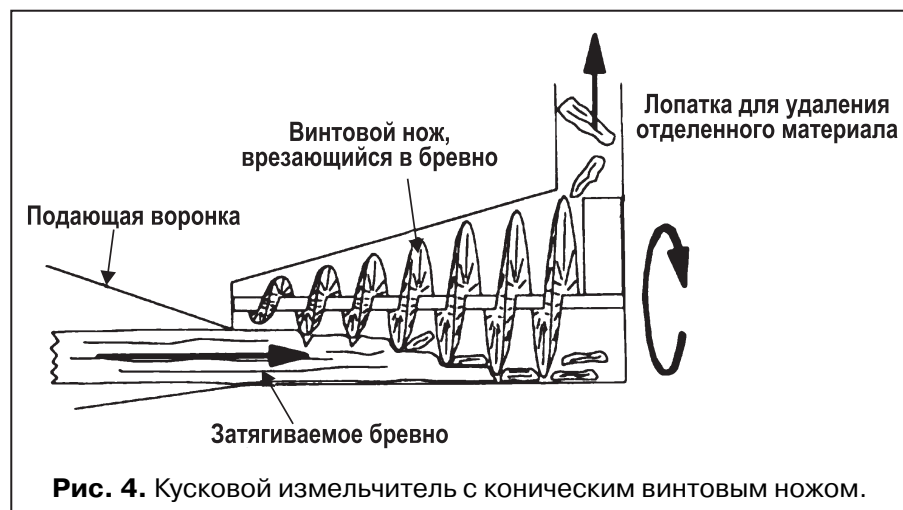
Кусковое измельчение может применяться для переработки достаточно прямых лесоматериалов с небольшим количеством ветвей или с мелкими ветвями. Оно не совсем пригодно для переработки лесосечных отходов, но может эффективно применяться для измельчения деревьев и бревен.

Кусковой измельчитель с коническим винтовым ножом

В кусковом измельчителе с коническим винтовым ножом или спиральной головкой используется острый винтовой нож, обеспечивающий самоподачу после захвата обрабатываемого материала своим узким концом (рис. 4).

Винтовой нож, проворачиваясь, врезается глубже в обрабатываемое бревно, затягивая его внутрь. После достижения ножом максимальной глубины древесина раскалывается и удаляется лопатками, выбрасывающими куски древесины из разгрузочного желоба. Длина частиц определяется шагом и числом спиралей винтового ножа. Использование нескольких винтовых ножей с большим числом расположенных с малым шагом спиралей позволяет измельчить материал до размеров щепы, а один винтовой нож с редкими спиральями обеспечивает получение более длинных кусков древесины, что позволяет производить измельчение в более широком диапазоне размеров по сравнению с рубительными машинами.

Одним из недостатков измельчителя с коническим винтовым ножом является необходимость заточки ножа большой длины. При использовании нескольких ножей с малым



шагом спиралей заточка ножа может быть очень трудоемкой операцией и требует высокой точности. Угол заточки определяет качество обработки и эффективность подачи материала. После изменения угла заточки по мере его затупления качество обработки материала снижается.

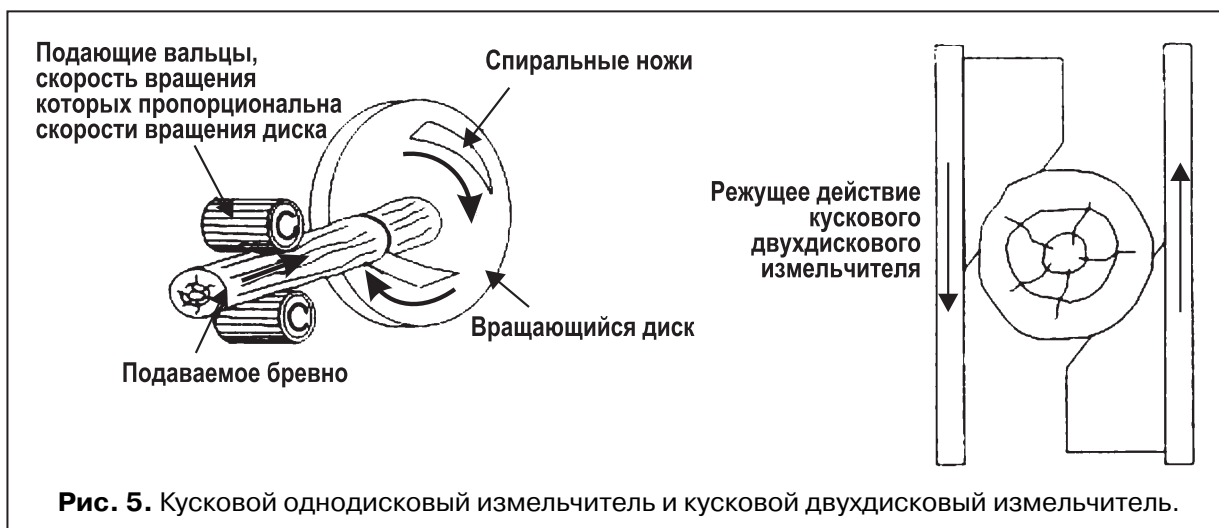


Рис. 5. Кусковой однодисковый измельчитель и кусковой двухдисковый измельчитель.

Кусковой дисковый измельчитель со спиральными ножами

Кусковой дисковый измельчитель со спиральными ножами осуществляет измельчение с помощью вращающегося диска с установленными на нем ножами различной длины. Ножи установлены так, что каждый загибается внутрь, увеличивая глубину разреза по мере вращения диска. Бревно подается в кусковой измельчитель между диском и столом параллельно плоскости диска. Бревно захватывается подающими роликами с приводом и подается в машину со скоростью, пропорциональной скорости вращения диска. Так как бревно движется непрерывно, ножи должны быть изогнутыми для осуществления резки по мере подачи материала, но они не подтягивают подаваемый материал (рис. 5).

Кусковой измельчитель этого типа большей мощности включает два параллельных диска, вращающихся в противоположном направлении, при этом каждый из дисков служит столом для другого диска. Этот кусковой измельчитель способен обрабатывать лесоматериалы большего диаметра, так как резка осуществляется на глубину двух ножей. Максимальная глубина резки древесины определяется размерами ножей. Глубина резки ограничена степенью жесткости расположенного над диском ножа.

В настоящее время кусковой измельчитель с дисковым ножом выпускается серийно; разработка кускового дискового измельчителя со спиральными ножами находится на этапе испытания прототипа.

Молотковое дробление

Молотковые дробилки осуществляют измельчение материала, оказывая на него ударное воздействие с целью разрушения с помощью молотков, наносящих удары по измельчаемому материалу до тех пор, пока полученные частицы не начнут проходить через ячейки сита требуемого размера. Молотки устанавливаются на барабан на штангах, обеспечивающих их

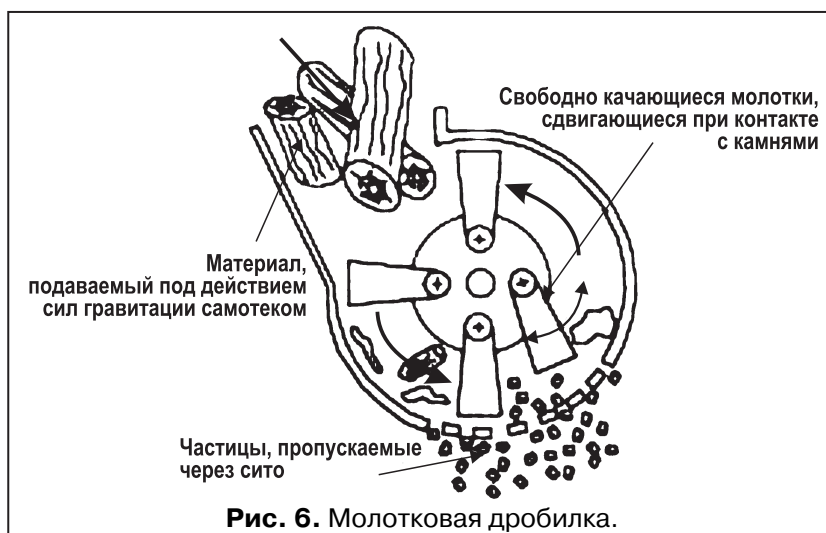


Рис. 6. Молотковая дробилка.

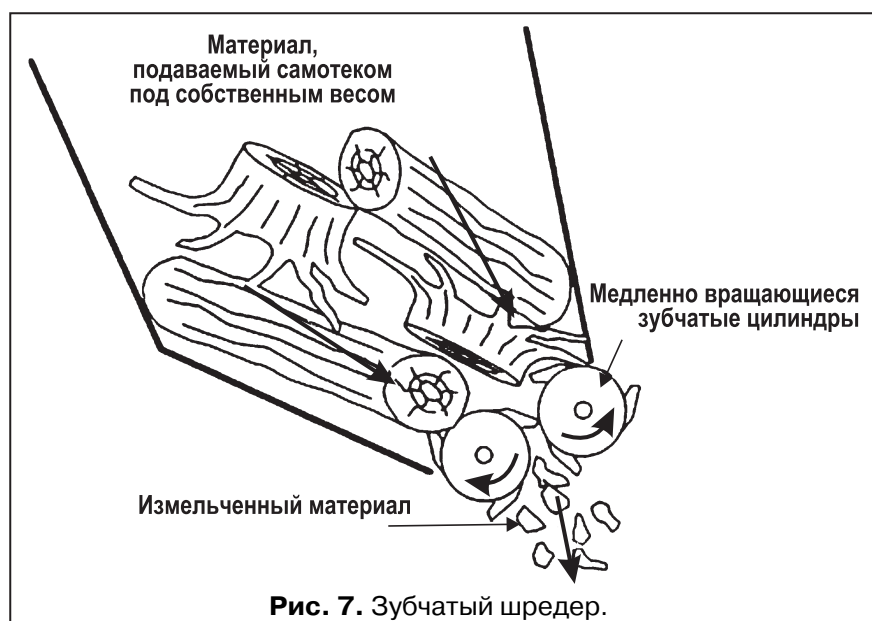
свободное качение. При вращении барабана с рабочей скоростью молотки удерживаются создаваемыми центробежными силами (рис. 6).

Механизм свободного качения позволяет сдвигать молоток назад в случае контакта с посторонними предметами, такими как камни или металлические предметы, предотвращая повреждение молотка. Барабан обычно помещается в корпус молоткового измельчителя с вертикальной загрузкой, в котором он устанавливается в горизонтальном положении внутри вращающегося бункера. Бункер медленно вращается, при этом лопатки, закрепленные на стенках бункера, перемешивают материал, подталкивая его к вращающимся молоткам. Другая конструкция предусматривает установку барабана в конце транспортера. Измельчаемый материал перемещается транспортером к подающим роликам, с помощью которых регулируется скорость подачи материала в барабан молотковой дробилки.

Размер частиц обрабатываемого материала можно частично контролировать, изменяя размер ячеек сита, зазор между ситом и молотком, размер, форму и число молотков, скорость ротора, однако диапазон размеров частиц при молотковом дроблении значительно шире, чем при измельчении в рубительной машине.

Шредерование (измельчение в шредере)

Обычно шредер имеет один или два ряда вращающихся рядов зубьев, закрепленных на цилиндрах, установленных на дне бункера. Вращение рядов зубьев осуществляется системой привода с высоким крутящим моментом. Ряды зубьев имеют прочную конструкцию, и привод машины обычно является реверсивным, что позволяет предотвращать или устранять заклинивание при попадании в обрабатываемый зубьями материал твердых предметов, таких как камни. Зубья расположены на цилиндре со смещением таким образом, что в любой момент времени обработка поступающего материала осуществляется только частью зубьев (рис. 7).



Материал измельчается при пропуске между рядами зубьев или между рядом зубьев и столом. Материал, измельченный до требуемых размеров, падает через зазоры между зубьями. В другом методе измельчения в шредере используется аналогичный процесс, но измельчение осуществляется с помощью трех цилиндров, вращающихся в противоположном направлении относительно друг друга, на которых вместо зубьев закреплены высокопрочные винтовые ножи. Спирали ножей соприкасаются при каждом обороте цилиндра, измельчая проходящий между ними материал.

Применение измельчающего оборудования при заготовке лесосечных отходов

Производство измельченного древесного топлива в промышленных масштабах требует применения высокопроизводительного оборудования, обеспечивающего объемы

производства, достаточные для удовлетворения потребностей в поставках, и снижение издержек производства на единицу продукции. Как правило, это означает, что процесс производства механизирован, а производительность заготовительных работ составляет более 5 т в час.

Основным требованием при заготовке лесосечных отходов является способность измельчающего оборудования производить переработку лесоматериалов различных видов и размеров. Возраст и методы ухода за древостоем оказывают воздействие на размеры и форму деревьев, однако используемые методы заготовки и типы заготавливаемых круглых сортиментов являются основными факторами, определяющими состав лесосечных отходов. Если осуществляется валка елового древостоя с целью заготовки пиловочных бревен и тонкомерного круглого лесоматериала с минимальным диаметром до 7 см, то лесосечные отходы будут содержать значительное количество длинных вершин (частей ствола от места реза на участке ствола диаметром 7 см до верхней точки вершины). Эти лесосечные отходы значительно легче загружать в рубительную машину, укладывая их по длине питающего устройства с вальцами, подающими лесосечные отходы в машину, без использования для их непрерывной подачи манипулятора с захватом. Имеющие большую длину лесоматериалы не пригодны для использования в бункерном измельчителе, так как они выступают за края бункера, что затрудняет их переработку. Если в этом древостое планируется заготовка тонкомерного круглого лесоматериала для целлюлозно-бумажного производства, то на лесосеке будет оставлен весь сухостой, так как он не пригоден для использования в производстве целлюлозы. Он может включать деревья, погибшие только за несколько лет до проведения сплошнолесосечной рубки, которые могут иметь довольно крупные размеры. Сухостой может заготавливаться в случае, если тонкомерный круглый лесоматериал планируется использовать в качестве сырья для производства древесностружечных плит, что снижает средний единичный размер лесосечных отходов. Некоторые участки по переработке древесины также могут перерабатывать более тонкомерные лесоматериалы (с использованием роторных вместо барабанных корообдирочных машин), что снижает минимальный диаметр реза до 4 см. Это значительно уменьшает длину вершин, остающихся после выполнения операций по переработке древесины; в этом случае возрастает выход стволовой древесины с лесосеки, но снижается выход лесосечных отходов.

Одним из факторов, которые следует учитывать при планировании работ, является состояние лесосеки в период заготовки лесосечных отходов. Если лесосека имеет мягкий тип почвы или почва размягчена длительными дождями до либо во время производства работ, для предотвращения застревания тяжелой техники может использоваться подстилка из лесоматериалов, укладываемая по пути движения харвестера или форвардера. В этом случае может происходить вдавливание материала подстилки в грунт и загрязнение его неорганическими веществами; также возможно пробуксовывание форвардера при подборе части материала подстилки.

Переработка лесосечных отходов осуществляется более эффективно рубительными машинами, чем молотковыми мельницами, так как измельчение материала с помощью ножей обеспечивает получение щепы более высокого качества и с меньшими энергетическими затратами по сравнению с переработкой посредством его дробления на мелкие частицы. Преимущество сказывается тогда, когда перерабатываемый материал содержит отрезки стволовой древесины большего диаметра, переработку которых значительно сложнее осуществлять в молотковом барабане. Вместе с тем в рубительную машину должен подаваться чистый материал во избежание чрезмерного износа ножей рабочего органа и потерь производственного времени в результате частой смены ножей.

Молотковые дробилки более, чем рубительные машины или кусковые измельчители, пригодны для переработки загрязненного материала, так как при их исполь-

зовании не требуется регулярно производить заточку ножей. Они также с большей эффективностью, чем кусковые измельчители или дисковые рубительные машины, могут использоваться для переработки коротких разнонаправленных отрезков лесоматериалов, содержащихся в лесосечных отходах. Метод измельчения дроблением требует, чтобы машина имела прочную конструкцию, что определяет ее характеристики, включая большие размеры и вес. Дробильные машины также имеют высокую энергоемкость и обычно используются в качестве стационарного оборудования с питанием от сети электроснабжения или монтируются на автоприцеп, оборудованный двигателем высокой мощности.

Барабанные рубительные машины, конструкция которых позволяет осуществлять загрузку лесоматериала больших размеров, также способны перерабатывать значительно отличающиеся по размерам лесосечные отходы. Дисковые рубительные машины могут применяться для переработки целых сухостойных деревьев и длинных вершин, однако возможности их использования несколько ограничены при переработке неупорядоченного материала кроны. Имеются рубительные машины с большими загрузочными отверстиями, однако размеры диска, требуемые для получения необходимой площади поперечного сечения при подаче материала, исключают их применение для измельчения лесосечных отходов по экономическим причинам. Наиболее предпочтительным из существующих методов измельчения лесосечных отходов является использование барабанной рубительной машины, обеспечивающей более эффективный контроль размера частиц, имеющей меньшую энергоемкость и большую площадь подачи. При измельчении загрязненных лесосечных отходов во избежание повреждения ножей рубительной машины более приемлемым будет использование дробильной мельницы.

Приложение 4

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПЛОТНОСТЬ ЛЕСНОЙ ЩЕПЫ*

Теплота сгорания определяется на единицу массы топлива из сухой или свежесрубленной древесины. Так как в большинстве случаев при покупке и измерении количества биомассы используются единицы объема и при перевозке грузов на транспортных средствах и хранении материалов на складах также принято использовать единицы объема, а не массы, важно также знать значение эффективной (низшей) теплоты сгорания на единицу объема. Эта величина является *энергетической плотностью* топлива. Значение базовой плотности, т.е. отношение веса сухой массы к объему свежесрубленной древесины в кг/м³, используется в качестве коэффициента преобразования единиц массы в единицы плотного объема.

Колебания значений базовой плотности в материале древесины различных пород деревьев и компонентов биомассы значительно выше, чем колебания значений низшей теплоты сгорания в сухой древесной массе. Различия между этими значениями возрастают при выполнении вычислений в единицах объема. Наиболее высокую энергетическую плотность имеет щепа из пород деревьев с высокой энергетической плотностью древесины, например дуба. Теплота сгорания плотного кубического метра коры березы, произрастающей в лесах североевропейских стран, соответствует теплоте сгорания 0,30 т условного топлива в пересчете на нефть (ТУТН). Аналогичное значение для шотландской сосны составляет 0,13 т условного топлива в пересчете на нефть (табл. 1).

Таблица 1. Энергетическая плотность лесной биомассы щепы и измельченной коры при влажности 40%

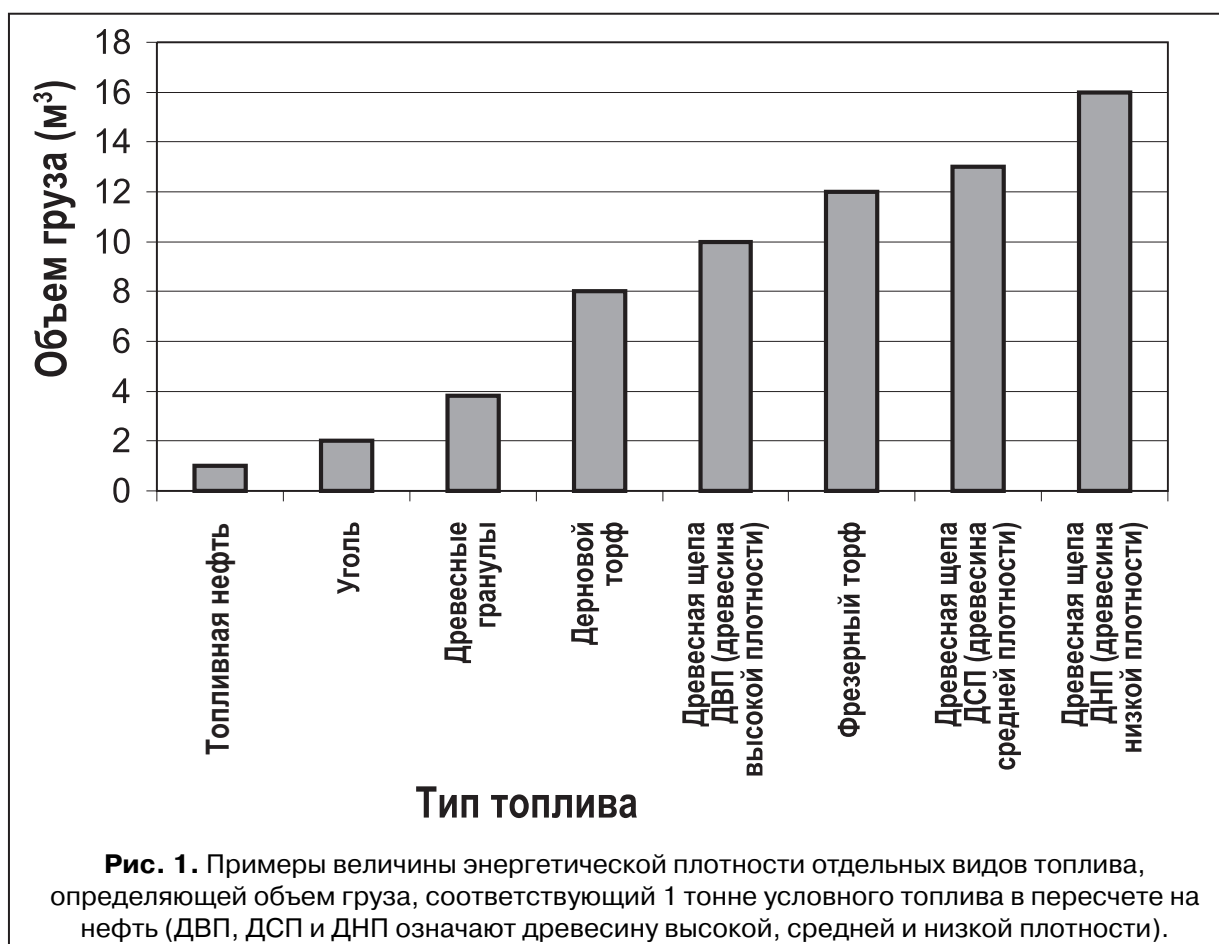
Источник	Базовая плотность, кг/м ³	Энергетическая плотность		
		МДж/ м ³	кВтч/ м ³	ТУТН/ /м ³
Целое дерево				
Шотландская сосна	395	7100	1970	0,169
Норвежская ель	400	7020	1950	0,167
Береза	475	8270	2300	0,197
Кора				
Шотландская сосна	280	5460	1520	0,130
Норвежская ель	360	7090	1970	0,169
Береза	550	12490	3470	0,297
Крона без листвы				
Шотландская сосна	405	7780	2160	0,185
Норвежская ель	465	8400	2330	0,200
Береза	500	9040	2510	0,215
Крона с листвой				
Шотландская сосна	405	7660	2130	0,183
Норвежская ель	425	7730	2150	0,184

Основной единицей объема, используемой в лесном хозяйстве, является м³ плотной древесины. Хотя плотный м³ и может использоваться в практических целях для сравнения сортиментов различной объемной плотности, насыпной м³ является более распространенной (хотя и менее точной) единицей измерения объема щепы. Поэтому также необходимо знать значения насыпной плотности или содержание твердого материала в объеме щепы, т.е. отношение плотного объема к насыпному объему щепы. Содержание твердого материала в объеме щепы зависит от следующих факторов:

* По публикации Richardson *et al* (2002).

Часть Б: Производство и поставка древесного топлива

- *формы частиц:* чем выше значение отношения длины по диагонали к толщине частицы, тем меньше содержание твердого материала в щепе;
- *фракционного состава частиц:* в материале с неоднородным фракционным составом меньше зазоры между частицами. Топливная щепа из деревьев или лесосечных отходов содержит больше мелких частиц, чем щепа с однородным фракционным составом, полученная из балансов, и имеет более высокое содержание твердого материала;
- *породы дерева:* топливная щепа, полученная из имеющего высокую хрупкость материала низкой плотности, содержит больше мелких частиц и имеет более высокое содержание твердого материала;
- *содержания ветвей:* при переработке ветвей и гибких сучьев свежесрубленных деревьев образуются длинные частицы, снижающие содержание твердого материала;
- *хранения:* биомасса, находящаяся на хранении, содержит больше мелких частиц и меньше длинных частиц, чем зеленая биомасса;
- *времени года:* при измельчении мерзлой биомассы, имеющей высокую хрупкость, образуется больше мелких частиц;
- *метода погрузки:* подача щепы потоком воздуха по щеповоду рубительной машины в автощеповоз повышает содержание твердого материала на единицу объема в большей степени, чем погрузка со свободным падением щепы с транспортера, из бункера трактора, с погрузчика или из наземного бункера. Подача потоком воздуха сверху в большей степени повышает содержание твердого материала, чем боковая подача. Чем выше давление, создаваемое вентилятором, тем выше плотность частиц;
- *уплотнения:* при транспортировке происходит увеличение содержания твердого вещества в грузе щепы в результате воздействия вибрации и уплотнения матери-



ала груза. Факторы, от которых зависит степень уплотнения материала, включают первоначальное содержание твердого материала в грузе, расстояние транспортировки, состояние дороги и возможное замерзание щепы. Уплотнение происходит быстро на начальном этапе и замедляется через 10–20 км транспортировки. При оценке производительности транспортировки грузов содержание твердого материала перед транспортировкой имеет более важное значение, чем содержание твердого материала после транспортировки.

Содержание твердого материала в топливной щепе составляет от 0,38 до 0,44 в зависимости от вышеуказанных факторов. Обычно используется коэффициент пересчета 0,4. Таким образом, 1 плотный м³ древесины перерабатывается в 2,5 м³ сыпучей щепы. Одной из проблем, осложняющих использование биомассы, является ее низкая энергетическая плотность. Пространство, необходимое для транспортировки биомассы и хранения щепы, в 11–15 раз превышает пространство, занимаемое нефтью, и в 3–4 раз пространство, занимаемое углем, что повышает производственные издержки. Поэтому традиционно (и в идеальном случае) топливную древесину используют на близком расстоянии от места заготовки. Измельчение, сушка и переработка древесной биомассы в топливные гранулы позволяют значительно повысить ее энергетическую плотность (рис. 1).

С увеличением потребности промышленности в щепе из биомассы будет увеличиваться как расстояние между объектами конечного пользования и источниками биомассы, так и стоимость ее транспортировки. В отличие от ископаемых видов топлива в системах производства древесного топлива эффект масштаба становится отрицательным, хотя транспортировка насыпью (на поездах или судах) может снизить зависимость производства от расстояния транспортировки древесного топлива. На крупных установках контроль стоимости топливной щепы из биомассы часто осуществляется посредством сжигания щепы совместно с корой, опилками, торфом, углем или отходами городского хозяйства.

Для внутриведомственного использования

ПЕРЕДОВОЙ ОПЫТ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭНЕРГИИ БИОМАССЫ

в 2-х частях
(перевод с английского)

Составитель: *John Vos*
Корректор: *М.И. Авхимович*
Компьютерная верстка, дизайн обложки: *Е.В. Павлова*

Подписано в печать _____ 2006 г. Формат 60x84/8. Бумага офсетная.
Гарнитура PragmaС. Печать _____. Уч.-изд. л. 23,47. Усл. печ. л. 23,02.
Тираж 500 экз. Зак. №_____.

Допечатная подготовка — Учебно-выставочной и издательский центр
при УП «Белэнергосбережение».
220037, г. Минск, ул. Долгоюродская, 12/2.
тел.: (017) 235-82-61

Отпечатано в типографии