



**ИнфоМайн** 

**Исследовательская группа**

Объединение независимых экспертов в области минеральных ресурсов,  
металлургии и химической промышленности

---

# Обзор рынка древесного угля и оборудования для его производства в России

*Демонстрационная версия*

*Москва  
Июнь, 2010*

## Содержание

<b>Аннотация.....</b>	<b>9</b>
<b>Введение .....</b>	<b>10</b>
<b>1. Технология производства древесного угля.....</b>	<b>11</b>
1.1. Требования к качеству сырья и древесного угля .....	11
1.2. Технология подготовки сырья .....	12
1.3. Технология производства древесного угля .....	13
1.4. Технология пиролиза древесины .....	16
<b>2. Производство древесного угля в России в 1995-2009 гг. ....</b>	<b>24</b>
2.1. Объемы и динамика производства древесного угля в России.....	24
2.2. Основные производители древесного угля .....	27
2.2.1. ЗАО «Верхнесинячихинский лесохимический завод» .....	27
2.2.2. ОАО «Амзинский лесокомбинат».....	31
2.2.3. ОАО «Моломский ЛХЗ» .....	35
2.2.4. ОАО «Карбохим» (Нижегородская область, пос. Сява).....	40
2.2.4. Другие производители.....	44
2.3. Затраты, структура себестоимости производства и цены древесного угля .....	47
<b>3. Оборудование для производства древесного угля.....</b>	<b>52</b>
3.1. Краткая характеристика углевыжигательных установок.....	52
3.2. ООО «ХК «Спецтопресурс» (Москва) .....	57
3.3. ООО «Карбонфильтр» (Санкт-Петербург) .....	59
3.4. ЗАО «Лонас Технологии» (отдел «Биоэнергия») (Санкт-Петербург) ..	62
3.5. Импорт оборудования.....	65
3.5.1. ООО «Гринпауэр» (Украина) .....	65
<b>4. Экспорт-импорт древесного угля в России.....</b>	<b>77</b>
4.1. Экспорт древесного угля, направления и объемы поставок.....	77
4.2. Импорт древесного угля, направления и объемы поставок.....	82
<b>5. Обзор цен на древесный уголь.....</b>	<b>90</b>
5.1. Обзор внутренних цен на древесный уголь в России.....	90
5.2. Обзор экспортно-импортных цен в России .....	94
<b>6. Потребление древесного угля в России .....</b>	<b>97</b>
6.1. Баланс потребления древесного угля в России в 2001-2009 гг. ....	97
6.2. Отраслевая структура потребления древесного угля в России .....	99
6.3. Региональная структура потребления древесного угля в России .....	101
6.4. Основные потребители древесного угля в России .....	103
6.4.1. Кремниевый дивизион ОАО «РУСАЛ» .....	104

6.4.2. ОАО «Сорбент» (г. Пермь) .....	111
<b>7. Прогноз развития рынка древесного угля в России до 2015 г. ....</b>	<b>115</b>
<b>Приложение 1. ГОСТ 24260-80 .....</b>	<b>117</b>
<b>Приложение 2 .....</b>	<b>127</b>
Контактная информация основных производителей древесного угля .....	127
Контактная информация основных потребителей древесного угля .....	127

## Список таблиц

- Таблица 1: Структура производства древесного угля по предприятиям в России в 2001-2009 гг., тыс. т
- Таблица 2: Региональная структура производства древесного угля в России в 2003-2009 гг., т
- Таблица 3: Основные получатели древесного угля ЗАО «ВСЛХЗ» в 2005-2009 гг., тыс. т
- Таблица 4: Прайс-лист ЗАО «ВСЛХЗ» на древесный уголь
- Таблица 5: Основные получатели древесного угля ОАО «Амзинский лесокombинат» в 2005-2009 гг., тыс. т
- Таблица 6: Экспорт древесного угля ОАО «Амзинский лесокombинат» в 2005-2009 гг., т
- Таблица 7: Отчет о прибылях и убытках ОАО «Амзинский лесокombинат» в 2005-2008 гг., тыс. руб.
- Таблица 8: Основные получатели древесного угля ОАО «Моломский лесохимический завод» в 2005-2009 гг., тыс. т
- Таблица 9: Экспорт древесного угля ОАО «Моломский ЛХЗ» в 2005-2007 гг., т
- Таблица 10: Основные показатели хозяйственной деятельности ОАО «Моломский ЛХЗ» в 2006-2009 гг.
- Таблица 11: Финансовые показатели деятельности ОАО «Моломский ЛХЗ» в 2006-2009 гг.
- Таблица 12: Основные потребители продукции ОАО «Карбохим» в 2005-2009 гг., т
- Таблица 13: Экспорт древесного угля ОАО «Карбохим» в 2005-2009 гг., т
- Таблица 14: Прайс-лист ЗАО «Тюменский пиролизный завод» на древесный уголь высшего сорта марки А ГОСТ 7657-84
- Таблица 15: Прайс-лист ЗАО ТПФ «ЮТ» (ЛПК «Коуровский лес») на древесный березовый уголь марки А и Б ГОСТ 7657-84 в 2009 г.
- Таблица 16: Прочие производители древесного угля в РФ
- Таблица 17: Стоимость 1 м<sup>3</sup> древесины от рубок лесных насаждений в Свердловской области
- Таблица 18: Объемы производства и выручки (без НДС) ОАО «Моломский ЛХЗ» по видам деятельности, тыс. руб., %, т
- Таблица 19: Среднемесячные цены производителей на древесный уголь и ряд другой продукции
- Таблица 20: Структура затрат на производство древесного угля
- Таблица 21: Основные технические данные и характеристики ПТОРС-5 (г)
- Таблица 22: Технические и эксплуатационные характеристики установки углежжения УПР
- Таблица 23: Параметры углевыжигательных печей типа «Беззольная»
- Таблица 24: Основные параметры и размеры печи УП «Евро»
- Таблица 25: Импорт установок для пиролиза древесины в Россию
- Таблица 26: Технические характеристики печи УП-100 «Кудесница»
-

- Таблица 27: Региональная структура экспорта древесного угля Россией в 2001-2009 гг.
- Таблица 28: Компании-экспортеры древесного угля из РФ в 2001-2009 гг.
- Таблица 29: Региональная структура импорта древесного угля Россией в 2001-2009 гг.
- Таблица 30: Компании-экспортеры древесного угля в Россию в 2001-2009 гг., т/тыс. \$
- Таблица 31: Российские получатели импортного древесного угля в 2001-2009 гг. т/тыс. \$
- Таблица 32: Динамика среднемесячных цен на древесный уголь в 2002-2009 гг. в РФ, руб./т
- Таблица 33: Динамика средних цен на древесный уголь в Кировской области в 2006-2009 гг., руб./т
- Таблица 34: Динамика средних цен на древесный уголь в Свердловской области в 2006-2009 гг., руб./т
- Таблица 35: Динамика средних цен на древесный уголь в Р. Башкортостан в 2006-2009 гг., руб./т
- Таблица 36: Динамика средних цен на древесный уголь в Красноярском крае в 2006-2009 гг., руб./т
- Таблица 37: Баланс «производство-потребление» древесного угля в России в 2001-2009 гг.
- Таблица 38: Потребители древесного угля в России в 2005-2009 гг., тыс. т
- Таблица 39: Средний состав и свойства различных видов восстановителей, используемых при производстве технического кремния в России
- Таблица 40: Поставки различных видов восстановителей на предприятия по производству кремния в 2004-2009 гг., тыс. т
- Таблица 41: Поставки древесного угля в ООО «Суал-Кремний-Урал» в 2003-2008 гг., тыс. т
- Таблица 42: Поставки древесного угля в ЗАО «Кремний», тыс. т
- Таблица 43: Поставки древесного угля в ОАО «Сорбент» в 2005-2009 гг., т
- Таблица 44: Экспортные поставки ОАО «Сорбент» в 2006-2009 гг., т

## Список рисунков

- Рисунок 1: Установка вертикальной реторты
- Рисунок 2: Динамика производства древесного угля в России в 1995-2009 гг., тыс. т
- Рисунок 3: Динамика производства древесного угля (тыс. т) ЗАО «Верхнесинячихинский лесохимический завод» и его доля (%) общем объеме производства в РФ в 2001-2009 гг.
- Рисунок 4: Динамика производства древесного угля (тыс. т) в ОАО «Амзинский лесокombинат» и его доля (%) в общем объеме производства в РФ в 2001-2009 гг.
- Рисунок 5: Динамика производства древесного угля ОАО «Моломский лесохимический завод» (тыс. т) и его доля в общем объеме производства продукта в России (%) в 2001-2009 гг.
- Рисунок 6: Динамика производства продукции (тыс. т) ОАО «Кабохим» и его доля (%) в общем объеме производства в РФ в 2001-2009 гг.
- Рисунок 7: Классификация углевыжигательных установок
- Рисунок 8: Углевыжигательная печь УВП-5А
- Рисунок 9: Общий вид установки для производства древесного угля УПР
- Рисунок 10: Установка «Поликор» с тельфером (Боровичи)
- Рисунок 11: Общий вид установки «Эколон»
- Рисунок 12: Схема размещения печи «Эколон»
- Рисунок 13: Схема печи УП «Евро» (ООО «Гринпауэр»)
- Рисунок 14: Принцип работы УП «Евро»
- Рисунок 15: Схема участка для работы печи УП «Евро»
- Рисунок 16: Схема печи УП -100 «Кудесница»
- Рисунок 17: Динамика экспорта древесного угля Россией в 2001-2009 гг.,
- Рисунок 18: Региональная структура экспорта древесного угля Россией в 2009 г., т (%)
- Рисунок 19: Динамика импорта древесного угля Россией в 2001-2009 гг.,
- Рисунок 20: Основные страны-экспортеры древесного угля в Россию в 2004 г., т (%)
- Рисунок 21: Основные страны-экспортеры древесного угля в Россию в 2009 г., т (%)
- Рисунок 22: Динамика средних цен на древесный уголь в 2002-2009 гг. в РФ, руб./т
- Рисунок 23: Динамика цен на древесный уголь по регионам РФ в 2006-2009 гг., руб./т
- Рисунок 24: Динамика средних экспортных цен РФ на древесный уголь в 2001-2009 гг., \$/т
- Рисунок 25: Динамика среднегодовых импортных цен на древесный уголь, ввозимый в РФ в 2001-2009 гг., \$/т
- Рисунок 26: Динамика потребления, производства, импорта и экспорта древесного угля в РФ в 2004-2009 гг., т

Рисунок 27: Динамика структуры потребления древесного угля в России в 2004-2009 гг.

Рисунок 28: Региональная структура потребления древесного угля в России в 2007 и 2009 гг.

Рисунок 29: Динамика выпуска технического кремния на предприятиях СУАЛа в 1992-2009 гг., тыс. т

Рисунок 30: Динамика производства кристаллического кремния и потребления древесного угля в ООО «Суал-Кремний-Урал» в 2005-2008 гг., тыс. т

Рисунок 31: Динамика производства кремния и потребления древесного угля ЗАО «Кремний» в 2004-2009 гг., тыс. т

Рисунок 32: Динамика производства основной продукции и потребления древесного угля ОАО «Сорбент» в 2005-2009 гг., тыс. т

Рисунок 33: Прогноз производства и потребления древесного угля в России в 2010-2015 гг.

## **Аннотация**

Данное исследование посвящено рынку древесного угля и оборудованию для его производства.

Отчет состоит из 6 частей, содержит 125 страниц, в том числе 44 таблицы и 33 рисунка.

В первой части приведены технические условия на древесное сырье для пиролиза и древесный уголь и технология производства древесного угля.

Во второй части описаны основные производители древесного угля, исследованы себестоимость производства и цены на древесный уголь у основных производителей.

Третья часть посвящена обзору выпускаемого оборудованию для производства древесного угля.

В четвертой главе анализируются внешнеторговые операции с древесным углем в России. Приведены данные об объемах экспорта и импорта изучаемой продукции, оценена региональная структура поставок, приведены данные об объемах древесного угля, поставляемого экспортерами и импортерами.

В пятой главе представлены сведения об уровне цен на древесный уголь на внутреннем рынке, а также проанализированы данные об изменениях экспортно-импортных цен на продукцию за последние 9 лет.

Шестая глава посвящена потреблению древесного угля в России. В этом разделе приведен баланс производства-потребления исследуемой продукции, оценена отраслевая и региональная структуры потребления, описаны основные потребители.

Седьмая, заключительная, глава посвящена прогнозу производства древесного угля в России на период до 2015 г.

В качестве источников информации использовались данные ФСГС РФ, Федеральной таможенной службы РФ, годовых и квартальных отчетов эмитентов ценных бумаг, интернет-сайтов предприятий-производителей как самой продукции, так и оборудования, отраслевой и региональной прессы, а также опроса специалистов.

## Введение

**Древесный уголь** – макропористый высокоуглеродистый продукт, образующийся при пиролизе древесины без доступа воздуха.

В зависимости от вида древесины из 1 м<sup>3</sup> получают 80-100 кг угля, 2-4 кг жидких продуктов и около 8 кг горючих газов. Теплота сгорания древесного угля 30000-35000 КДж/кг (7000-8100 ккал/кг).

Большая пористость древесного угля обуславливает его высокие адсорбционные свойства. Древесный уголь обладает способностью соединяться с кислородом воздуха; этим объясняются случаи его самовозгорания (при температуре более 340°С). Свежеприготовленный уголь имеет свойство самовоспламеняться, если его суммарный объем превышает 100 дм<sup>3</sup>. Свойства пожарной опасности – 4 класс. Нижний уровень концентрации для возгорания древесноугольной пыли составляет 128 г/м<sup>3</sup>.

При выгрузке из печей и реторт влажность древесного угля составляет 2-4%; при хранении она повышается до 7-15%. Зольность древесного угля должна быть не более 3%, содержание летучих веществ – не более 20%. Особенность древесного угля – низкое содержание таких примесей, как фосфор и сера, что делает его необходимым для некоторых металлургических процессов.

Древесный уголь находит применение в быту – в качестве бытового топлива (удельная теплота сгорания древесного угля 31,5-34 МДж/кг), но в основном древесный уголь применяется в промышленности:

- в цветной металлургии для получения алюминия, бора, технического кремния;
- в приборостроении и в полиграфическом производстве, где он используется для шлифовки и полировки деталей и форм, в машиностроении – твердая графитовая смазка;
- в электрических машинах, электровакуумной технике (все виды угольных сопротивлений, различные контакты, щетки, изделия для техники связи и многие другие предметы);
- в качестве наполнителя пластмасс – заменяет дорогостоящий и дефицитный графит.

Также древесный уголь применяют в качестве:

- абсорбента для производства различных фильтрующих элементов, в том числе в ликероводочной промышленности;
- пищевого красителя под кодом E153;
- изоляционного материала при строительстве, так как древесный уголь очень гигроскопичен и хорошо поглощает запахи;
- кормовой добавки в животноводстве.

## 1. Технология производства древесного угля

### 1.1. Требования к качеству сырья и древесного угля

Технические условия на древесное сырье для пиролиза и углежжения регламентирует ГОСТ 24260-80 «Сырье древесное для пиролиза и углежжения. Технические условия» (приложение 1).

Предпочтительным сырьем для углежжения является твердолиственная древесина. Из нее получается более прочный и плотный уголь.

Древесиной, пригодной для пиролиза и углежжения, считаются:

1 группа – береза, бук, ясень, граб, ильм, вяз, дуб, клен;

2 группа – осина, ольха, липа, тополь, ива.

В новых условиях сырьем для углежжения чаще становятся отходы хвойных пород, осина, кустарниковые. Получить продукт необходимого качества из данного материала возможно, если производить уголь по отработанной технологии и брикетировать.

Одним из основных требований к качеству сырья является отсутствие наружной трухлявой гнили. Допускается гниль ядровая и заболонная (ГОСТ 2140-81) размером не более 15%. При этом качество сырья определяют визуально.

Производство древесного угля в России и странах СНГ ведется по ГОСТ 7657-84 «Уголь древесный. Технические условия». Стандарт распространяется на древесный уголь, получаемый при пиролизе и углежжении древесины в аппаратах промышленного типа.

Из различных пород древесины вырабатывают три марки древесного угля (ГОСТ 24260-80):

А – уголь, получаемый при пиролизе древесины пород группы 1;

Б – уголь, получаемый при пиролизе смеси древесины пород групп 1 и 2;

В – уголь, получаемый при углежжении смеси древесины пород групп 1, 2 и 3.

## **1.2. Технология подготовки сырья**

Традиционная технология подготовки сырья предусматривает механическую обработку древесины, поступившей на предприятие, с целью приведения ее размеров в соответствие со стандартом. Обычно поступившая древесина распиливается на куски длиной 1 м, а затем на многопильных установках (слешерах) распиливается на поленья длиной 20 или 25 см, после чего поленья толщиной свыше 20 см раскалываются.

Подготовленная для пиролиза древесина в цехе подготовки сырья складывается в кучи, где происходит естественная подсушка. При полугодовом сроке хранения древесина подсушивается до относительной влажности 25-35%, в зависимости от климатических условий местности, в которой расположено предприятие. Если поступившая на предприятие древесина сразу же идет на производство древесного угля, то ее влажность составляет 45-55%, что резко увеличивает затраты тепла на сушку и снижает экономичность производства древесного угля. Предприятия стремятся по возможности увеличить срок хранения древесины в цехе подготовки сырья, т.е. максимально использовать естественную сушку древесины.

При использовании для производства древесного угля различного рода древесных отходов, образующихся в лесопилении, деревообработке, при лесозаготовках, первой проблемой является приведение этих отходов в транспортабельное состояние, т.е. увеличение их насыпной плотности. Обычно это решается измельчением отходов в щепу или дробленую массу, после чего насыпная плотность увеличивается в 2-3 раза.

Необходимость сортировки поступающего сырья по породам зависит от рынка сбыта древесного угля. Сортировка необходима, если древесный уголь направляется на производство активных углей, а также в том случае, если одна часть потребителей предъявляет повышенные требования к механической прочности древесного угля, а для другой этот показатель не имеет принципиального значения. Сортировка сводится к разделению твердолиственных и мягколиственных пород (в соответствии со стандартом).

### 1.3. Технология производства древесного угля

Анализ требований стандартов приводит к следующим выводам:

1. технологии углежжения и пиролиза основаны на переработке сырья крупных размеров;
2. лучшим сырьем для углежжения и пиролиза является древесина первой группы, отличающаяся прочностью;
3. основной породой для производства древесного угля в России является береза.

Сырьевая база и технология производства древесного угля в зарубежных странах отличаются от российских. Во многих странах для получения древесного угля используются различные древесные отходы, поэтому снимаются ограничения по размерам сырья. Если получаемый древесный уголь направляется на брикетирование, то не имеет значения и прочность исходной древесины.

В любом случае, требования к сырью для углежжения и пиролиза определяются исходя из требований к древесному углю, которые формулируются его потребителем.

Согласно ГОСТ, для производства активных углей предназначен древесный уголь только марки А. Также для угля, предназначенного для производства активных углей, установлены нормы (п. 5 и п. 7 табл. 6 приложения 1).

Из множества факторов, влияющих на процесс пиролиза древесины, можно выделить десять основных, определяющих выход и состав продуктов пиролиза:

**сырьевые факторы** – порода, влажность, зольность древесины и наличие в ней гнили;

**физические факторы** – конечная температура процесса и давление в аппарате;

**технологические факторы** – скорость нагрева материала, вид применяемого теплоносителя, способ теплообмена и наличие химических добавок.

**Порода древесины.** Различия в составе хвойной и лиственной древесины проявляются в составе смолистых веществ и лигнина, а также в соотношении между содержанием целлюлозы, лигнина и гемицеллюлоз.

Плотность и пористость исходной древесины определяют эти же показатели у получаемого древесного угля.

**Влажность древесины.** При одинаковой конечной температуре процесса на пиролиз сырой древесины необходимо затратить больше времени, чем на пиролиз предварительно высушенной, за счет увеличения продолжительности неизбежной при пиролизе стадии сушки сырья до нулевой влажности.

Если продолжительность пиролиза для древесины с разной влажностью сделать одинаковой, то для более влажной древесины необходимо повысить температуру теплоносителя, т.е. увеличить жесткость процесса.

По экономическим соображениям переработка сырой древесины нецелесообразна, т.к. при этом неизбежен повышенный расход топлива на сушку и снижается производительность оборудования.

**Зольность древесины** оказывает прямое влияние на зольность древесного угля. Поскольку зольность древесного угля и большинства продуктов его переработки ограничивается, то для пиролиза стараются подобрать древесину с минимальной зольностью. В дереве минимальную зольность имеет ствол, а в сучьях и особенно в коре содержание минеральных веществ намного выше, что ограничивает рынок сбыта получаемого из них древесного угля.

Минеральные вещества, находящиеся в древесине, почти всегда снижают выход древесного угля, но увеличивают реакционную способность получаемого древесного угля, так как препятствуют формированию устойчивой к реагентам кристаллической решетки.

**Наличие гнили в древесине.** Древесина, пораженная гнилью, по составу отличается от исходной. Бурая гниль, например, разрушает углеводную часть, и древесина оказывается обогащенной лигнином. Пиролиз древесины, пораженной бурой гнилью, подобен пиролизу лигнина с соответствующим выходом и составом продуктов пиролиза. Белая гниль, наоборот, разрушает в основном лигнин.

**Конечная температура пиролиза** – основной фактор, определяющий выход и состав продуктов пиролиза. Увеличение температуры повышает энергетический уровень пиролизуемого материала. При этом появляются возможности для разрыва связей с большей энергией диссоциации и протекания реакций с большей энергией активации. С увеличением температуры увеличивается выход парогазовой смеси и соответственно падает выход древесного угля. Наиболее заметно это происходит до температуры 400°C. Выход газов пиролиза сравнительно плавно возрастает до температуры 700°C, а затем резко увеличивается. Выход жидких продуктов пиролиза имеет максимум при температуре около 500°C.

Конечная температура пиролиза оказывает большое влияние и на состав продуктов пиролиза, что видно на примере изменения состава газов пиролиза. В начале процесса пиролиза образуются только CO<sub>2</sub> и CO. При повышении температуры до 400°C в газах возрастает содержание CO за счет снижения содержания CO<sub>2</sub>, начинает образовываться CH<sub>4</sub>. При повышении температуры до 500°C в газах пиролиза преобладают CO и CH<sub>4</sub> и начинается заметное образование H<sub>2</sub>. При температуре 600°C и выше в газах пиролиза преобладают CH<sub>4</sub> и H<sub>2</sub>.

**Давление в аппарате.** Повышение давления приводит к увеличению выхода древесного угля за счет снижения выхода жидких продуктов пиролиза, особенно смолы. Увеличение выхода древесного угля объясняется тем, что с

увеличением давления усиливаются реакции конденсации и пиролиз смещается в сторону углеобразования.

При пиролизе в вакууме наблюдается высокий выход смолы (до 37% от а.с.д. при остаточном давлении 5 мм рт. ст.). В этих условиях образующиеся при пиролизе вещества сразу покидают зону высоких температур, не вступая во вторичные реакции, приводящие, как правило, к образованию древесного угля, воды и газов.

На практике обычно применяют небольшое избыточное давление в аппарате, главным образом с целью снижения пожаровзрывоопасности производства. Вакуум или большое избыточное давление не применяют из-за резкого удорожания стоимости оборудования.

**Скорость нагрева материала.** Увеличение скорости нагрева материала позволяет сократить продолжительность процесса пиролиза, т.е. уменьшить время пребывания парогазовой смеси в зоне высоких температур. При этом снижается интенсивность вторичных реакций между образующимися веществами. Увеличивается выход газов и смолы, снижается выход древесного угля. Например, увеличение скорости нагрева при пиролизе березовой древесины с 10°/мин до 50°/мин приводит к снижению выхода древесного угля с 32 до 23% и увеличению выхода газов пиролиза с 15 до 24%.

От скорости нагрева зависит структура получаемого древесного угля: чем выше скорость нагрева, тем большую долю в древесном угле составляет кристаллический углерод, хотя основная масса его остается аморфной.

**Вид применяемого теплоносителя.** Теоретически для проведения пиролиза может быть использован газовый, жидкий или твердый теплоноситель. От вида применяемого теплоносителя зависит коэффициент теплопередачи. Наиболее эффективны жидкий и твердый теплоносители. Увеличение интенсивности теплообмена дает возможность подвести необходимое количество энергии за более короткий срок или при более низкой температуре, т.е. уменьшить время пребывания продуктов пиролиза в зоне высоких температур или снизить жесткость нагрева. В обоих случаях это приводит к увеличению выхода жидких продуктов пиролиза за счет уменьшения интенсивности вторичных реакций.

Технически организовать процесс пиролиза с применением твердого или жидкого теплоносителя значительно сложнее и дороже, чем применить газовый. Поэтому термообработка древесины в среде жидкого теплоносителя при температуре до 400°С применяется пока только в опытном масштабе, главным образом для проведения процесса термического ожижения древесины. При этом удается до 90% древесины перевести в жидкое смолоподобное состояние.

Промышленный пиролиз проводят с использованием газового теплоносителя. В этом случае на выход продуктов пиролиза оказывает влияние состав теплоносителя. При повышении влагосодержания теплоносителя (кг водяного пара/кг сухого газа) повышается летучесть веществ, входящих в состав парогазовой смеси, и они быстрее выводятся из аппарата, не вступая во

вторичные реакции. В этом смысле действие водяного пара аналогично действию вакуума.

Пиролиз древесины в среде водяного пара идет в мягких условиях, т.е. при небольшой разнице температур между теплоносителем и материалом. В этом случае наблюдается повышенный выход древесного угля и органических жидких продуктов по сравнению с пиролизом той же древесины в чисто газовой среде (при прочих равных условиях) за счет снижения выхода продуктов глубокой деструкции (воды и газов). Поверхность древесного угля, полученного в мягких условиях, содержит повышенное количество функциональных групп.

**Способ теплообмена.** При внешнем теплообмене теплоноситель обогревает аппарат через стенку, не соприкасаясь с материалом. В этом случае вещества, образовавшиеся при пиролизе, находятся в аппарате сравнительно долго и вступают во вторичные реакции, приводящие к увеличению выхода древесного угля и снижению выхода жидких продуктов пиролиза, особенно смолы. Смолистые вещества, образовавшиеся при пиролизе, или коксуются на поверхности древесного угля, или образуют в порах древесного угля смоляные перегородки, формируя закрытую пористость.

При внутреннем теплообмене вещества, образовавшиеся при пиролизе, разбавляются транзитным теплоносителем и быстро выносятся из зоны высоких температур. Выход жидких продуктов пиролиза повышается за счет снижения выхода древесного угля. Смоляных перегородок в древесном угле меньше, чем при внешнем теплообмене.

**Наличие химических добавок.** Химические добавки, в основном минерального характера, применяют для ускорения процесса пиролиза и повышения выхода древесного угля. Действие этих добавок приводит к усилению деполимеризации материала и ускорению процесса пиролиза (добавки деполимеризирующего типа) или к усилению дегидратации молекул, приводящей к формированию структуры древесного угля (дегидратирующие добавки). Структура древесного угля также сильно зависит от вида применяемой химической добавки.

#### **1.4. Технология пиролиза древесины**

Режим пиролиза определяющим образом влияет на выход и состав продуктов, но при прочих равных условиях выход зависит от породы перерабатываемой древесины и части дерева, подверженной пиролизу. В промышленном производстве выход угля часто бывает заметно меньше, чем расчетный. Самые распространенные причины – это попадание кислорода воздуха в аппарат, вследствие чего происходит выгорание части угля, а также особенности режима и потери при перегрузках, исключение из баланса отсеянной и сожженной на своем производстве угольной пыли. Качественным

считается для большинства направлений потребления уголь, прокалка которого завершена при 450-550<sup>0</sup>С.

Технологический процесс получения древесного угля состоит из четырех стадий:

- I. окончательная сушка древесины;
- II. пиролиз древесины с образованием древесного угля и парогазовой смеси;
- III. прокалка древесного угля;
- IV. охлаждение древесного угля.

**Первая стадия – окончательная сушка древесины** – это сушка древесины при температуре 130-155<sup>0</sup>С за счет подвода тепла из вне, данный процесс сопровождается удалением из древесины воды и изменением ряда компонентов древесины, что существенно сказывается на последующем процессе пиролиза.

Предварительная сушка, проводимая вне реторты, обычно удаляет из древесины только свободную влагу и снижает влажность до 10-20%. Проведение окончательной сушки древесины в реторте неизбежно, хотя и нежелательно, так как при этом увеличивается объем аппарата, а парогазовая смесь разбавляется водяным паром, что снижает концентрацию в ней полезных компонентов и теплотворную способность.

Стадия окончательной сушки довольно продолжительна, так как из древесины удаляется уже не свободная, а связанная влага. Поскольку процесс проходит во внутренней диффузионной области, т.е. медленно, для этой стадии необходим дополнительный объем реторты. Объем, занимаемый стадией сушки, соизмерим с объемом, необходимым для проведения пиролиза, но в отличие от последнего является балластным, так как товарная продукция в нем не образуется.

Обычно сушка заканчивается при температуре древесины около 150<sup>0</sup>С и проводится с помощью дымовых газов с содержанием кислорода не более 6% (для предотвращения возгорания древесины).

**Вторая стадия – непосредственно сам пиролиз древесины** сопровождается образованием древесного угля и парогазовой смеси. Объем зоны пиролиза зависит от продолжительности процесса, которая может колебаться от долей секунды (ультрапиролиз) до нескольких суток в зависимости от размера частиц сырья и скорости подъема температуры материала. При выборе режима стадии пиролиза необходимо иметь в виду, что скорость подъема температуры сильно влияет на выход и качество древесного угля и, соответственно, на выход и состав парогазовой смеси, хотя решающим фактором, влияющим на выход и состав продуктов пиролиза древесины, несомненно, является конечная температура пиролиза.

Обычно температуру на стадии пиролиза поднимают до 460<sup>0</sup>С и содержание кислорода в газовой среде стараются поддерживать не выше 2% во избежание снижения выхода древесного угля или загорания материала в реторте.

Эту стадию можно разделить на два периода. Первый период – это начало разложения древесины, которое происходит при температуре 155-280°C и сопровождается распадом менее стойких ее составных частей; в этот период, идущий с подводом тепла, образуются углекислый газ, окись углерода, уксусная кислота и ряд других веществ.

Второй период – это испарение и образование основного количества продуктов разложения древесины, происходящее при температуре 280-455°C и сопровождающееся бурным выделением тепла (экзотермический процесс). При этом выделяются большие количества CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, эфиров, карбонильных соединений, углеводов, уксусной кислоты, ее гомологов и метанола, а под конец начинается удаление смолы.

**Прокалка древесного угля** проводится с целью получения однородного по качеству продукта и заключается в выдерживании древесного угля в течение некоторого времени при максимальной температуре. Особенно важна эта стадия при переработке сырья больших размеров, когда структура, состав и свойства древесного угля на поверхности и внутри куска значительно различаются.

Данный процесс протекает при температуре 455-560°C с поглощением тепла, поэтому для его проведения необходим дополнительный подвод теплоносителя. Обычно применяют газовый теплоноситель с минимальным содержанием кислорода. При прокалке выделяется некоторое количество парогазовой смеси. В этот период выделяется и удаляется тяжелая смола, а также CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub> и углеводороды. Остаток представляет собой древесный уголь.

В действительности указанные стадии пиролиза древесины резко не разграничиваются. Так, на стадии прокаливания угля при более высоких температурах процесс разложения продолжается.

Стадия **охлаждения древесного угля** завершает технологический процесс. Ее необходимость вызвана тем, что горячий и тем более раскаленный древесный уголь на воздухе возгорается.

Продукты разложения древесины удаляются в виде сложной парогазовой смеси. При охлаждении в конденсаторах она разделяется на жидкий конденсат (жижку) и неконденсируемые газы. Жижка при отстаивании разделяется на два слоя: верхний водный слой – отстоявшаяся жижка и нижний – отстойная смола.

Таким образом, в результате пиролиза древесины получают уголь, жидкий конденсат и газы.

Выход продуктов пиролиза древесины значительно колеблется в зависимости от величины кусков древесины, температуры процесса, его продолжительности, влажности древесины. В среднем для обычных пород древесины выход составляет: уголь – 35-40%; жижка – 47-50%; газы – 15-23%. При этом выход уксусной кислоты для хвойных пород равен 2,6-3%, для лиственных – 4-8%, выход метанола, соответственно, 0,65-0,85 и 1,5-2,5% массы а.с.д.

Применяемые для пиролиза древесины аппараты подразделяются по принципу действия – непрерывного, периодического, полунепрерывного действия и по принципу обогрева – аппараты с внутренним и наружным обогревом.

Наибольшее распространение на крупных промышленных предприятиях получили аппараты полунепрерывного действия, в которые древесину загружают периодически, небольшими порциями через определенные промежутки времени. Отбор парогазовой смеси осуществляют непрерывно, а выгрузку угля – периодически, порциями. В промышленной практике такие аппараты называют непрерывно-действующими.

В случае аппаратов с наружным обогревом подвод тепла к древесине осуществляется через железные стенки реторт, обогреваемые горячими дымовыми газами. Тепло к древесине от стенок внутри аппарата передается лучистым тепловым потоком.

В аппаратах с внутренним обогревом, получивших наибольшее распространение, тепло передается к древесине от теплоносителя при непосредственном контакте. Теплоноситель (горячие топочные газы) принудительно подается внутрь аппарата. При данном методе обогрева пиролиз древесины протекает в более мягких условиях, продукты разложения быстрее уносятся током теплоносителя из аппарата и лучше сохраняются от дальнейшего разрушения, однако концентрация продуктов разложения в парогазовой смеси в 7-10 раз меньше, чем в аппаратах с наружным обогревом. Это обстоятельство является одним из основных недостатков в их работе.

В аппаратах непрерывного действия все 4 стадии процесса пиролиза древесины протекают в одно и то же время: в верхней зоне аппарата – сушка, ниже – прогрев древесины до температуры разложения, в средней – разложение древесины, в нижней – прокаливание и охлаждение угля.

Пиролиз древесины осуществляют в вагонеточной или в вертикальной реторте.

**Вагонеточная реторта** состоит из трех камер: сушки, пиролиза и охлаждения.

В камере сушки древесина снижает влажность до 12-17%. Сушильный агент получается путем сжигания в топке сушилки штатного топлива с ограниченным расходом воздуха.

В камере пиролиза древесина обогревается газовым бескислородным теплоносителем до температуры около 500°C с образованием древесного угля и парогазовой смеси. Парогазовая смесь направляется в конденсатор-холодильник, где разделяется на конденсат и неконденсируемые газы. Газы сжигаются в топке реторты. Конденсат направляется в отстойник, где осаждаются отстойная смола. Водный слой с кислотностью 7-10% направляется на выделение уксусной кислоты. При отсутствии спроса на жидкие продукты пиролиза вся парогазовая смесь без конденсации направляется на сжигание.

В камере охлаждения (тушильнике) древесный уголь охлаждается до температуры 40-50°C за счет потерь тепла через металлический корпус в окружающую среду. После этого древесный уголь выдерживается некоторое время на открытом воздухе и направляется на склад.

Полученный древесный уголь проходит сортировку, где отделяется нетоварная фракция размером менее 12 мм (5-10% от общей массы полученного древесного угля).

Общая продолжительность технологического цикла (без операции загрузки, передвижения и выгрузки вагонеток) составляет 90 ч, из которых 36 ч затрачивается на сушку древесины в камере сушки, 18 ч – на окончательную сушку и пиролиз древесины в камере пиролиза, 36 ч – на охлаждение древесного угля в тушильнике.

Около 20% древесного угля вырабатывается в условиях промышленного производства, оснащенного *вертикальными непрерывно действующими ретортами* с полным сжиганием парогазов и высокой степенью механизации (рис. 1).

В реторте процесс пиролиза идет непрерывно при полунепрерывной загрузке древесины небольшими порциями в верхнюю часть, полунепрерывной выгрузке охлажденного древесного угля небольшими порциями снизу реторты и непрерывной циркуляции теплоносителя, обычно топочных газов, получаемых при сжигании в газовой топке нефтяного топлива и неконденсирующихся газов реторты.

Технология пиролиза древесины *в вертикальной реторте* выглядит следующим образом.

Древесина со склада сырья вагонетками подается в разделочное отделение. На вагонетках древесина уложена пачками, что способствует механизации подачи в бункер-питатель слешерной установки. Из бункера-питателя древесина подается на слешер, причем древесина предварительно раскалывается на цепном колуне. После слешера чурка длиной 295 мм подается ленточными транспортерами и скиповыми подъемниками в шахтные прямоточные сушилки объемом от 85 до 220 м<sup>3</sup>. Чурка загружается в сушилку через верхний тележечный гидравлический затвор, открываемый при движении скипа. Уровень чурки контролируется механическими уровнемерами.

Теплоноситель (дымовые газы котельной) должен подаваться при температуре 185-250°C в верхнюю часть сушилки, а отработанный теплоноситель должен отводиться снизу при температуре до 100°C (если мало содержание кислорода в дымовых газах, их температуру можно повысить до 330°C. Сухая чурка (влажностью 22-27%) выгружается через определенные промежутки времени через выгрузочное устройство и подается ленточным транспортером в ковш скипового подъемника реторты.

Древесина в реторте периодически опускается и последовательно проходит зоны окончательной сушки, пиролиза, прокали и охлаждения древесного угля.