



Исследовательская группа

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

Обзор рынка древесного угля и оборудования для его производства в России

*Издание 2-е
дополненное и переработанное*

Демонстрационная версия

*Москва,
Октябрь 2012*

Internet: www.infomine.ru

e-mail: info@infomine.ru

Содержание

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Аннотация..... | 9 |
| 1. Краткая характеристика мирового рынка древесного угля..... | 10 |
| 2. Технология производства древесного угля..... | 14 |
| 2.1. Требования к качеству сырья и древесного угля..... | 14 |
| 2.2. Технология подготовки сырья..... | 16 |
| 2.3. Основные факторы, влияющие на процесс пиролиза древесины | 17 |
| 2.4. Технология пиролиза древесины | 20 |
| 3. Производство древесного угля в России в 1995-2011 гг. | 29 |
| 3.1. Объемы и динамика производства древесного угля в России | 29 |
| 3.2. Основные производители древесного угля..... | 34 |
| ЗАО «Верхнесинячихинский ЛХЗ» (Свердловская обл.)..... | 34 |
| ОАО «Амзинский лесокомбинат» (Республика Башкортостан)..... | 38 |
| ОАО «Моломский ЛХЗ» (Кировская обл.)..... | 44 |
| ООО «Меридиан» (Свердловская обл.)..... | 50 |
| Прочие предприятия | 52 |
| 3.3. Предприятия, прекратившие выпуск продукции..... | 55 |
| ОАО «Карбохим» (Нижегородская обл.) | 55 |
| 4. Оборудование для производства древесного угля..... | 60 |
| 4.1. Основные производители оборудования..... | 60 |
| ООО «Карбонфильтр» (Санкт-Петербург)..... | 60 |
| ЗАО «Лонас Технология» (отдел «Биоэнергия») (Санкт-Петербург) .. | 64 |
| ООО «Уральские технологии древесного угля» (Свердловская обл.)..... | 67 |
| ООО «Гринпауэр» (Украина) | 70 |
| 4.2. Импорт оборудования | 79 |
| 5. Внешнеторговые операции с древесным углем в России в 2001-2011 гг. | 83 |
| 5.1. Экспорт древесного угля, направления и объемы поставок..... | 84 |
| 5.2. Импорт древесного угля, направления и объемы поставок | 90 |
| 6. Обзор цен на древесный уголь..... | 100 |
| 6.1. Обзор внутренних цен на древесный уголь в России | 100 |
| 6.2. Обзор экспортно-импортных цен в России | 104 |
| 7. Потребление древесного угля в России | 108 |
| 7.1. Баланс потребления древесного угля в России в 2001-2011 гг. | 108 |
| 7.2. Отраслевая структура потребления древесного угля в России..... | 111 |
| 7.3. Основные потребители древесного угля в России..... | 114 |
| Кремниевый дивизион «ОК «РУСАЛ» | 117 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|
| ООО «Кремний-Урал» (Свердловская обл.) | 120 |
| ЗАО «Кремний» (Иркутская обл.)..... | 122 |
| ОАО «Сорбент» (г. Пермь) | 125 |
| 8. Прогноз развития рынка древесного угля в России до 2015 г. | 128 |
| Приложение 1. ГОСТ 24260-80 | 131 |
| Приложение 2 ГОСТ 7657-84 | 138 |
| Приложение 3 | |
| <i>Контактная информация основных производителей древесного угля ..</i> | <i>142</i> |
| <i>Контактная информация основных потребителей древесного угля</i> | <i>143</i> |

Список таблиц

- Таблица 1. Объемы производства, экспорта, импорта и потребления древесного угля в Африке в 1995-2011 гг., тыс. т
- Таблица 2. Объемы производства, экспорта, импорта и потребления древесного угля в Южной Америке в 1995-2011 гг., тыс. т
- Таблица 3. Объемы производства, экспорта, импорта и потребления древесного угля в Южной Азии в 1995-2011 гг., тыс. т
- Таблица 4. Объемы производства, экспорта, импорта и потребления древесного угля в Юго-Восточной Азии в 1995-2011 гг., тыс. т
- Таблица 5. Объемы производства, экспорта, импорта и потребления древесного угля странами Европейского Союза
- Таблица 6. Физико-химические показатели древесного угля по ГОСТ 7657-94
- Таблица 7. Группы древесного сырья для пиролиза и углежжения
- Таблица 8. Объемы производства древесного угля в России в 2001-2011 гг., тыс. т
- Таблица 9: Объемы производства древесного угля в России по регионам в 2003-2012 гг., т
- Таблица 10: Основные получатели древесного угля ЗАО «ВСЛХЗ» в 2005-2011 гг., тыс. т
- Таблица 11: Основные получатели древесного угля ОАО «Амзинский лесокombинат» в 2005-2011 гг., тыс. т
- Таблица 12: Экспорт древесного угля ОАО «Амзинский лесокombинат» в 2005-2012 гг., т
- Таблица 13: Отчет о прибылях и убытках ОАО «Амзинский лесокombинат» в 2005-2011 гг., тыс. руб.
- Таблица 14: Основные показатели хозяйственной деятельности ОАО «Моломский ЛХЗ» в 2006-2011 гг.
- Таблица 15: Основные получатели древесного угля ОАО «Моломский лесохимический завод» в 2005-2011 гг., тыс. т
- Таблица 16: Экспорт древесного угля ОАО «Моломский ЛХЗ» в 2005-2012 гг., т
- Таблица 17: Финансовые показатели деятельности ОАО «Моломский ЛХЗ» в 2006-2011 гг.
- Таблица 18: Прочие производители древесного угля в РФ
- Таблица 19: Основные потребители продукции ОАО «Карбохим» в 2005-2009 гг., т
- Таблица 20: Экспорт древесного угля ОАО «Карбохим» в 2005-2009 гг., т
- Таблица 21: Технические и эксплуатационные характеристики установки углежжения УПР
- Таблица 22. Содержание углерода в древесном угле в зависимости от температуры пиролиза и последующей прокалки угля в реторте (в пересчете на абсолютно сухой уголь)

- Таблица 23. Технические характеристики установок МПРУ производства ООО «УралТехДревУголь»
- Таблица 24: Параметры углевыжигательных печей типа «Беззолная»
- Таблица 25: Основные параметры и размеры печи УП «Евро»
- Таблица 26: Технические характеристики печи УП-100 «Кудесница»
- Таблица 27: Импорт установок для пиролиза древесины в Россию в 2007-2012 гг.
- Таблица 28: Объемы внешнеторговых операций России с древесным углем в 2001-2011 гг., т, тыс. \$
- Таблица 29: Объемы экспортных поставок древесного угля РФ в 2001-2012 гг., т
- Таблица 30. Компании-экспортеры древесного угля в РФ в 2003-2012 гг., т
- Таблица 31: Объемы импорта древесного угля РФ по регионам в 2001-2012 гг., т, тыс. \$
- Таблица 32: Основные экспортеры древесного угля в РФ в 2007-2012 гг., т
- Таблица 33: Российские получатели импортного древесного угля в 2005-2012 гг. т
- Таблица 34: Динамика среднемесячных цен на древесный уголь в 2004-2012 гг. в РФ, тыс. руб./т (без НДС)
- Таблица 35. Цены на древесный уголь по регионам России в 2010-2012 гг., тыс. руб/т (без НДС)
- Таблица 36: Баланс «производство-потребление» древесного угля в России в 2001-2011 гг.
- Таблица 37: Основные потребители древесного угля в России в 2005-2011 гг., тыс. т
- Таблица 38: Средний состав и свойства различных видов восстановителей, используемых при производстве технического кремния в России
- Таблица 39. Поставки различных видов восстановителей на предприятия по производству кремния в 2004-2011 гг., тыс. т
- Таблица 40: Поставки древесного угля в ООО «Кремний-Урал» в 2003-2011 гг., тыс. т
- Таблица 41: Поставки древесного угля в ЗАО «Кремний», тыс. т
- Таблица 42: Поставки древесного угля в ОАО «Сорбент» в 2005-2011 гг., т
- Таблица 43: Экспортные поставки древесного угля ОАО «Сорбент» в 2006-2010 гг., т

Список рисунков

- Рисунок 1. Динамика мирового производства древесного угля в 1993-2011 гг., млн т
- Рисунок 2. Тренды мирового производства древесного угля по регионам в 1980-2011 гг., млн т
- Рисунок 3. Структура производства древесного угля по странам мира в 2011 г., %
- Рисунок 4: Классификация пиролизных установок
- Рисунок 5: Установка вертикальной реторты
- Рисунок 6: Динамика производства древесного угля в России в 1995-2011 гг., тыс. т
- Рисунок 7: Динамика производства древесного угля (тыс. т) ЗАО «Верхнесинячихинский лесохимический завод» и его доля (%) в общем объеме производства в РФ в 2001-2011 гг.
- Рисунок 8: Динамика производства древесного угля (тыс. т) в ОАО «Амзинский лесокombинат» и его доля (%) в общем объеме производства в РФ в 2001-2011 гг.
- Рисунок 9. Динамика производства древесного угля ОАО «Моломский лесохимический завод» (тыс. т) и его доля в общем объеме производства России (%) в 2001-2011 гг.
- Рисунок 10. Динамика производства древесного угля ООО «Меридиан» в 2008-2011 гг., тыс. т
- Рисунок 11: Динамика производства древесного угля (тыс. т) ОАО «Кабохим» и его доля (%) в общем объеме производства в РФ в 2001-2009 гг.
- Рисунок 12: Общий вид установки для производства древесного угля УПР
- Рисунок 13: Установка «Поликор» с тельфером (Боровичи)
- Рисунок 14: Общий вид установки «Эколон»
- Рисунок 15: Схема размещения печи «Эколон»
- Рисунок 16: Схема печи УП «Евро» (ООО «Гринпауэр»)
- Рисунок 17: Принцип работы УП «Евро»
- Рисунок 18: Схема участка для работы печи УП «Евро»
- Рисунок 19: Схема печи УП -100 «Кудесница»
- Рисунок 20: Динамика внешнеторговых операций России с древесным углем в 2001-2011 гг., тыс. т
- Рисунок 21: Динамика российского экспорта древесного угля в натуральном и денежном выражении в 2001-2011 гг., т, тыс. \$
- Рисунок 22: Региональная структура экспорта древесного угля РФ в 2005-2011 гг., %
- Рисунок 23: Динамика российского импорта древесного угля в натуральном и денежном выражении в 2001-2011 гг., т, тыс. \$
- Рисунок 24: Региональная структура российского импорта древесного угля в 2005-2011 гг., %
- Рисунок 25. Региональная структура импорта древесного угля в РФ в 2011-2012 гг., %

- Рисунок 26: Динамика средних цен на древесный уголь в 2002-2012 гг. в РФ, руб./т
- Рисунок 27: Динамика цен на древесный уголь по регионам России в 2010-2012 гг., руб/т (без НДС)
- Рисунок 28. Динамика среднегодовых экспортных и импортных цен на древесный уголь в России в 2001-2012 гг., \$/т
- Рисунок 29. Динамика среднегодовых экспортных цен на древесный уголь РФ по направлениям в 2001-2012 гг., \$/т
- Рисунок 30. Динамика среднегодовых импортных цен России на древесный уголь по направлениям в 2002-2012 гг., тыс. \$/т
- Рисунок 31. Динамика производства, экспорта, импорта и «видимого» потребления древесного угля в России в 2001-2011 гг., тыс. т
- Рисунок 32: Динамика отраслевой структуры потребления древесного угля в России в 2004-2009 гг.
- Рисунок 33. Отраслевая структура потребления древесного угля в России в 2011 г., %
- Рисунок 34. Динамика выпуска технического кремния на предприятиях СУАЛа в 1992-2011 гг., тыс. т
- Рисунок 35: Динамика производства кристаллического кремния и потребления древесного угля в ООО «Кремний-Урал» в 2000-2011 гг., тыс. т
- Рисунок 36. Динамика производства кремния и потребления древесного угля ЗАО «Кремний» в 2000-2011 гг., тыс. т
- Рисунок 37: Динамика производства активных углей (1997-2011 гг.) и потребления древесного угля (2005-2011 гг.) ОАО «Сорбент», тыс. т
- Рисунок 38: Прогноз производства и потребления древесного угля в России в период до 2020 г., тыс. т

Аннотация

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

Отчет состоит из 8 частей, содержит 140 страниц, в том числе 43 таблицы, 38 рисунков и 3 Приложения.

Данная работа является «кабинетным» исследованием. В качестве источников информации использовались данные ФСГС РФ, Федеральной таможенной службы РФ, годовых и квартальных отчетов эмитентов ценных бумаг, интернет-сайтов производителей, как самой продукции, так и оборудования, отраслевой и региональной прессы.

В **первой** главе отчета дана краткая характеристика мирового рынка древесного угля, приведены сведения о крупнейших производителях этой продукции, а также об объемах потребления и внешнеторговых операций в региональном разрезе.

Во **второй** главе приведены требования к качеству древесного угля и сырья для его производства, а также описана технология производства древесного угля.

В **третьей** главе приведены данные об объемах производства древесного угля в России в 1995-2011 гг. и 1 половине 2012 г., описаны основные производители древесного угля, приведены сведения об объемах их производства и экспорта.

Четвертая глава посвящена оборудованию для производства древесного угля. Приведены сведения об основных производителях оборудования в России и на Украине, даны технические характеристики основных видов углевыжигательных печей.

В **пятой** главе проанализированы внешнеторговые операции с древесным углем в России в 2001-2011 гг. Приведены данные об объемах экспорта и импорта этой продукции, оценена региональная структура поставок, приведены данные об объемах поставок древесного угля основными экспортерами и импортерами.

В **шестой** главе приведены статистические данные о ежемесячной динамике цен на древесный уголь на внутреннем рынке России в 2010-2011 г и 1 половине 2012 г., а также рассмотрены изменения экспортно-импортных цен на продукцию за последние 11 лет.

Седьмая глава посвящена потреблению древесного угля в России. В ней приведен баланс производства-потребления исследуемой продукции, оценена отраслевая структуры потребления, описаны основные потребители.

Восьмая, заключительная, глава посвящена прогнозу производства древесного угля в России на период до 2020 г.

2. Технология производства древесного угля

2.1. Требования к качеству сырья и древесного угля

Требования к качеству древесного угля прописаны в ГОСТ 7657-94 «Уголь древесный. Технические условия». Стандарт распространяется на древесный уголь, получаемый при пиролизе и углежжении древесины в аппаратах промышленного типа.

Большинство производителей декларируют, что их продукция соответствует требованиям, закрепленным в ГОСТ, некоторые предприятия производят древесный уголь в соответствии с ТУ. Обязательной сертификации древесного угля не требуется, однако, качество этой продукции крайне важно при использовании древесного угля в сложных производственных процессах.

Древесный уголь из пород древесины по ГОСТ 24260 вырабатывают трех марок:

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.

ГОСТ 7657-94 регламентирует ряд физико-химических показателей древесного угля, таких как массовая доля золы, воды и нелетучего углерода (табл. 6).

Таблица 6. Физико-химические показатели древесного угля по ГОСТ 7657-94

| Наименование показателя | Норма для марки | | | | |
|------------------------------------------------|-----------------|----------|----------------|----------|---------|
| | марка А | | марка Б | | марка В |
| | высший сорт | 1-й сорт | 1-й сорт | 2-й сорт | |
| Кажущаяся плотность, г/см ³ | 0,37 | 0,37 | не нормируется | | |
| Массовая доля золы, %, не более | 2,5 | 3,0 | 2,5 | 3,0 | 4,0 |
| Массовая доля нелетучего углерода, %, не менее | 90 | 78 | 88 | 77 | 67 |
| Массовая доля воды, %, не более | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |

Источник: ФГУП «Стандартинформ»

Согласно ГОСТ, для производства активных углей предназначен древесный уголь только марки А.

Древесный уголь относится к четвертому классу опасности, то есть к малоопасным веществам.

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. В современных

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

В соответствии с ГОСТ 24260-80 древесное сырье для пиролиза и углежжения делится на 3 группы (табл. 7).

Таблица 7. Группы древесного сырья для пиролиза и углежжения

| Назначение древесного сырья | Группы породы | | |
|--------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|
| | 1-я | 2-я | 3-я |
| Для пиролиза | береза, бук, ясень, граб, ильм, вяз, дуб, клен | осина, ольха, липа, тополь, ива | - |
| Для углежжения | то же | сосна, ель, кедр, пихта, лиственница | осина, ольха, липа, тополь, ива |

Источник: ФГУП «Стандартинформ»

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.

2.2. 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 ряд потребителей предъявляет повышенные требования к механической прочности древесного угля, а для других этот показатель не имеет принципиального значения. Сортировка сводится к разделению твердолиственных и мягколиственных пород (в соответствии со стандартом).

2.3. Основные факторы, влияющие на процесс пиролиза древесины

Из множества факторов, влияющих на процесс пиролиза древесины, можно выделить несколько 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 пиролиз сырой древесины требует больших затрат времени, чем 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 CO₂ и CO. При повышении температуры до 400°C в газах возрастает содержание CO за счет снижения содержания CO₂, начинает образовываться CH₄. При повышении температуры до 500°C в газах пиролиза преобладают CO и CH₄ и начинается заметное образование H₂. При температуре 600°C и выше в газах пиролиза преобладают CH₄ и H₂.

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. 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°C 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.