

# ДРЕВЕСНЫЙ УГОЛЬ - ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ВИД ТВЁРДОГО БИОТОПЛИВА

## CHARCOAL IS PERSPECTIVE SORT OF SOLID BIOFUEL

Г.И. Пальчёнко<sup>1</sup>, Н. Г. Хутская<sup>1</sup>, С.В. Василевич<sup>2</sup>, Н.С. Лейчёнко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, РБ

<sup>2</sup>РНУП «Институт энергетики НАН Беларуси», Минск, РБ

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

Твёрдый продукт пиролиза биомассы – биоуголь является высококачественным топливом со стабильным составом, высокими теплотворной и реакционной способностями, низкими влажностью и зольностью. Его применение особенно перспективно для совместного сжигания с низкосортными местными ископаемыми топливами для стабилизации топочного процесса и снижения вредных выбросов. Теплота сгорания древесного угля 30000-35000 КДж/кг (7000-8100 ккал/кг).

В энергетических целях древесный уголь может быть использован в качестве:

- бытового топлива (удельная теплота сгорания древесного угля 31,5-34 МДж/кг);
- высококалорийного, высокорекреационного, экологически чистого энергетического топлива ( $A=1-3\%$ ,  $Q_p=31-33$  МДж/кг) для индивидуального или совместного сжигания с ископаемыми топливами.

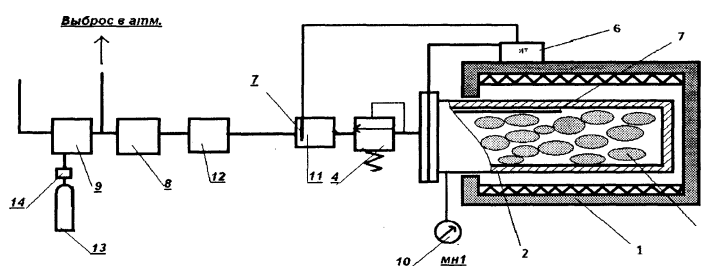
Традиционно древесный уголь получают пиролизом (разложением древесины без доступа воздуха) в специальных аппаратах. В зависимости от вида древесины из 1 м<sup>3</sup> получают 80-100 кг угля, 2-4 кг жидких продуктов и около 8 кг горючих газов.

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.

Экспериментальная установка состоит из муфельной печи 1 (SNOL 8.2/1100), герметичного реактора 2 (1 = 200 мм, двн = 50 мм) с помещенным внутри растительным сырьем 3, предохранительного клапана 4 (17с28нж, рис 3), системы 5 отвода газов, системы 6 измерения температуры (измеритель – регулятор «Сосна – 002»), термопары 7, манометра 10, системы анализа состава пиролизного газа 8-9, 11-14 (рис. 1).

Рисунок 1

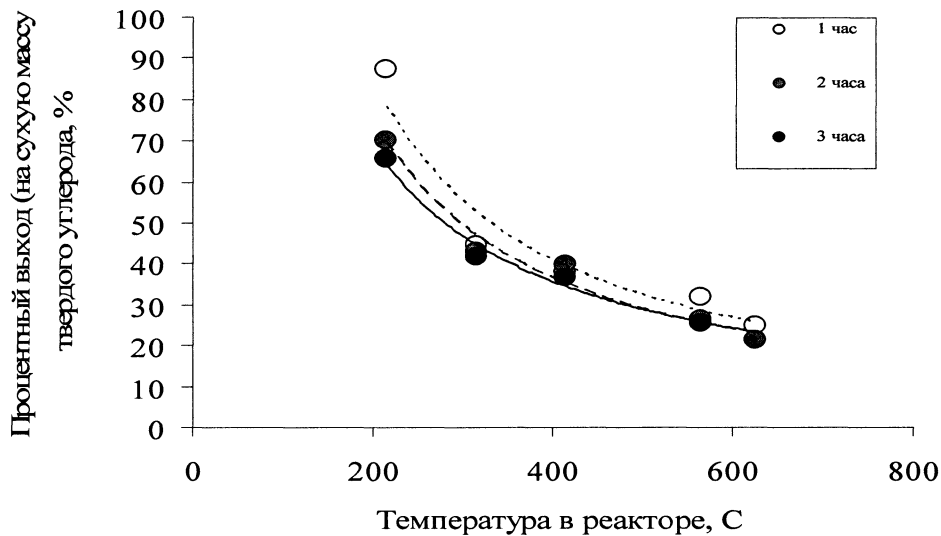


- |                       |                              |
|-----------------------|------------------------------|
| 7 Термопара           | 1 Муфельная печь             |
| 8 Кранх-дозиметр      | 2 Реактор                    |
| 9 Газовый хроматограф | 3 Сырьё                      |
| 10 Манометр           | 4 Предохранительный клапан   |
| 11 Охладитель         | 6 Система измер. температуры |
| 12 Фильтр             |                              |
| 14 Редуктор           |                              |
| 13 Колонка с газом    |                              |

В результате ряда проведенных экспериментов была установлена зависимость выхода твердого углерода (на сухую массу) от продолжительности пиролиза и от температуры (рисунок 2). Из графика видно, что при среднем давлением 0,5 МПа максимальный выход

твердых продуктов пиролиза составляет 42 – 44,7 % при температурах 250 – 350 °С [1]. Это на 5 % больше, чем при пиролизе древесины при давлении 0,7 – 1 МПа [2]. Снижение давления и сокращение времени протекания пиролиза (до 1 часа) не влияют на массовый выход твердых продуктов пиролиза. Предлагаемый способ повышает производительность и снижает энергоемкость при производстве древесного угля.

Рисунок 2



Для сравнения ниже приведены показатели демонстрационного реактора Антала:

- выход угля – 40 % на сухую массу;
- цикл не более 1.5 ч;
- 59-63 % углерода сухой биомассы → уголь (близко к теор. пределу)
- 55-66 % теплотворной способности сухой биомассы остаётся в угле
- до 70 % *рабочей* массы сырья конвертируется в пирогенный газ, который может быть использован для обогрева реактора или выработки энергии.

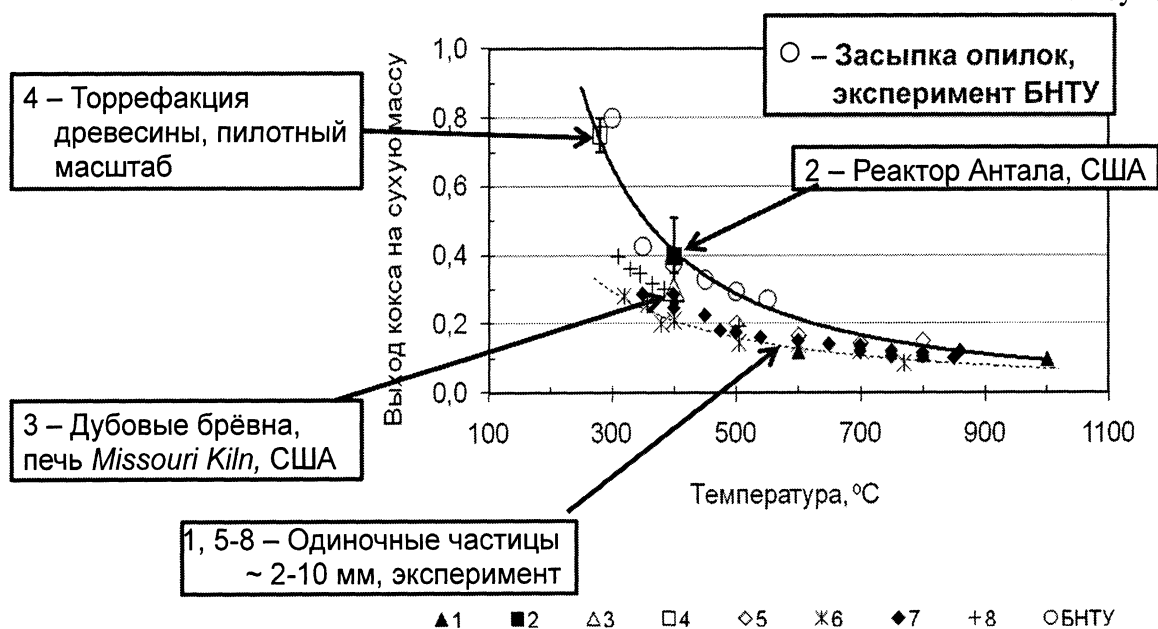
Принцип действия: нагрев сырья в герметичном реакторе приводит к выходу летучих и росту давления до 7-10 бар при 350 °С, (пиролиз "в собственном соку"). Сырьё: от опилок до дров с  $W^p=15-50\%$ . [2, 5-6].

На рисунке 3 для сравнения приведены литературные данные по выходу биоугля в промышленных и демонстрационных установках торрефакции, медленного пиролиза (Missouri Kiln) и реакторе Антала, а также экспериментальные данные по пиролизу одиночных частиц древесины размером 2–10 мм в различных условиях.

Сплошная линия, описывающая данные БНТУ, также хорошо обобщает данные по промышленным установкам, несмотря на существенные различия в размерах обрабатываемых частиц древесины ( $\sim 10^{-2} \dots 10^{-1}$  м в промышленных установках и  $\sim 10^{-3}$  м – в лабораторной). Это можно объяснить тем, что нагрев засыпки в лабораторной установке осуществляется на масштабе не одиночной частицы, а засыпки в целом, пропорциональной размеру контейнера с опилками, соизмеримому с крупнокусковой древесиной в промышленных реакторах. Для термически "толстых" засыпок/кусков скорость пиролиза лимитируется скоростью проникновения в них температурной волны (модель с распределенными параметрами). В случае пиролиза одиночных частиц выход кокса снижается с уменьшением их размера (т.е. термического сопротивления) и для самых мелких 2-миллиметровых частиц описывается пунктирной степенной кривой ограничивающей все данные снизу.

Результаты обобщения данных по выходу древесного угля в экспериментальных и промышленных условиях (рисунок 3) [3-4, 7].

Рисунок 3



Совместное сжигание углей с биомассой и продуктами её конверсии позволит снизить экологическую нагрузку на окружающую среду и увеличить срок использования собственных запасов ископаемого топлива.

Использование для совместного сжигания высокорекреационного сухого биоугля позволит стабилизировать топочный процесс.

Твёрдый продукт пиролиза биомассы – биоуголь является высококачественным топливом со стабильным составом, высокими теплотворной и реакционной способностями, низкими влажностью и зольностью. Его применение особенно перспективно для совместного сжигания с низкосортными местными ископаемыми топливами для стабилизации топочного процесса и снижения вредных выбросов.

#### Список литературы:

1. Заявка на изобретение «Способ получения древесного угля» № а 2012 1781 от 20.12.2012;
2. Patent 5,551,958 US 1996 / M. J. Antal, Jr. Process for Charcoal production from woody and herbaceous plant material;
3. Grønli M. Industrial production of charcoal // A review. SINTEF Energy Research. Trondheim. 2003. 4 pp;
4. Lipinsky E.S., Arcate J.R., Reed T.B. Enhanced wood fuels via torrefaction // Fuel Chemistry Division Preprints. 2002. Vol. 47. No. 1. P. 408-410;
5. Antal M.J., Jr., Grønli M. The Art, Science, and Technology of Charcoal Production // Ind. Eng. Chem. Res. 2003. Vol. 42. P. 1619-1640;
6. Antal M.J., Jr. The UH/HNEI black gold from green waste project // Presented on May 8, 2003, Hawaii Natural Energy Institute, USA;
7. Биоэнергетика – водородная или углеродная? / В.А.Бородуля, Г.И. Пальченко, Л.М. Виноградов и др. // V Минский международный форум по тепло- и массообмену. Минск, 2004. Доклад 6-03. 9 с.