

# Вторичные энергетические ресурсы

Сухоцкий Альберт Борисович

**ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ  
ПЕРЕРАБОТКИ ТОПЛИВА  
(пиролиз и газификация топлива)**

# Пиролиз

это процесс, при котором органическое сырье подвергают температурному воздействию без или недостаточном доступе кислорода для получения продуктов термической переработки (твердых, жидких и газообразных).

Продуктами пиролиза являются газы, жидкий конденсат в виде смол и масел, твердые остатки в виде угля и золы.

Продукты пиролиза имеют следующие характеристики:

**Твердый остаток** (максимальная массовая доля 25-35%). Древесный уголь на 75-85% состоит из углерода, обладает теплотой сгорания около 30 МДж/кг.

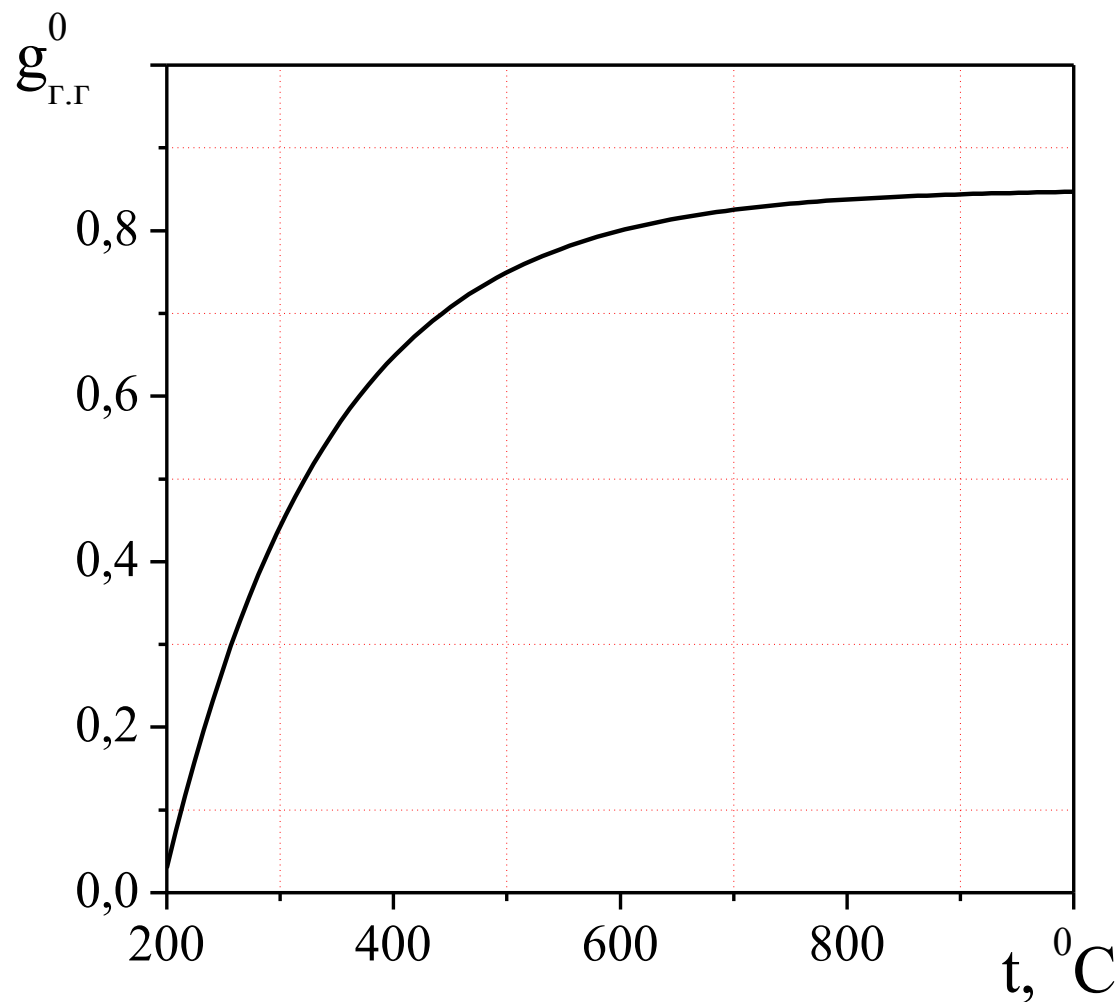
**Газы** (максимальная массовая доля, получаемая в газогенераторах, составляет примерно 82%). Газы в основном состоят из  $H_2$  (30-50%) и  $CO$  (20-50%) с малыми добавками  $CH_4$  (1-4%), паров смолы, уксусной (древесной) кислоты ( $CH_3COOH$ ), паров воды и пр.

Теплота сгорания около 5-10 МДж/кг.

**Жидкости** (конденсированные испарения, максимальная массовая доля около 30%). Делятся на вязкие фенольные смолы и текучие жидкости, пиролигенические кислоты, в основном уксусную кислоту, метанол (максимум 2%) и ацетон.

Жидкости могут быть отсепарированы и использованы в химической промышленности, либо могут использоваться вместе в качестве необработанного топлива с теплотой сгорания около 22 МДж/кг.

# Выход летучих (зависимость Леонтьева)



$$g_{\text{Г.Г.}}^0 = (0,85 - \exp(1,2 - t_{\text{Г}} / 143))$$

# Материальный баланс пиролиза топлива без доступа кислорода

$$B = G_{\text{пара}} + G_{\text{г.г}} + G_{\text{тв.ост}},$$

$$1 = g_{\text{пара}} + g_{\text{г.г}} + g_{\text{тв.ост}}$$

$$g_{\text{г.г}} = g_{\text{г.г}}^0 \cdot \left( 1 - \frac{W}{100} - \frac{A}{100} \right)$$

$$g_{\text{тв.ост}} = \left( 1 - g_{\text{г.г}}^0 \right) \cdot \left( 1 - \frac{W}{100} - \frac{A}{100} \right) + \frac{A}{100}$$

$$g_{\text{пара}} = W / 100$$

# Уравнение теплового баланса пиролиза топлива (без доступа кислорода)

$$Q_{\text{H}}^{\text{p}} + Q_{\text{пиролиза}} = g_{\text{Г.Г}} Q_{\text{H}}^{\text{Г.Г}} + Q_{\text{ф.Т}}^{\text{Г.Г}} + g_{\text{ТВ.ОСТ}} Q_{\text{H}}^{\text{ТВ.ОСТ}} + Q_{\text{ф.Т}}^{\text{ТВ.ОСТ}},$$

$$Q_{\text{ф.Т}}^{\text{Г.Г}} = c_{\text{Г}} g_{\text{Г.Г}} (t_{\text{Г}} - t_0) + c_{\text{пара}} g_{\text{пара}} (t_{\text{Г}} - t_0) + r g_{\text{пара}},$$

$$c_{\text{Г}} = 2,0 \text{ кДж}/(\text{кг } ^\circ\text{C}) \quad c_{\text{пара}} = 2,3 \text{ кДж}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$$

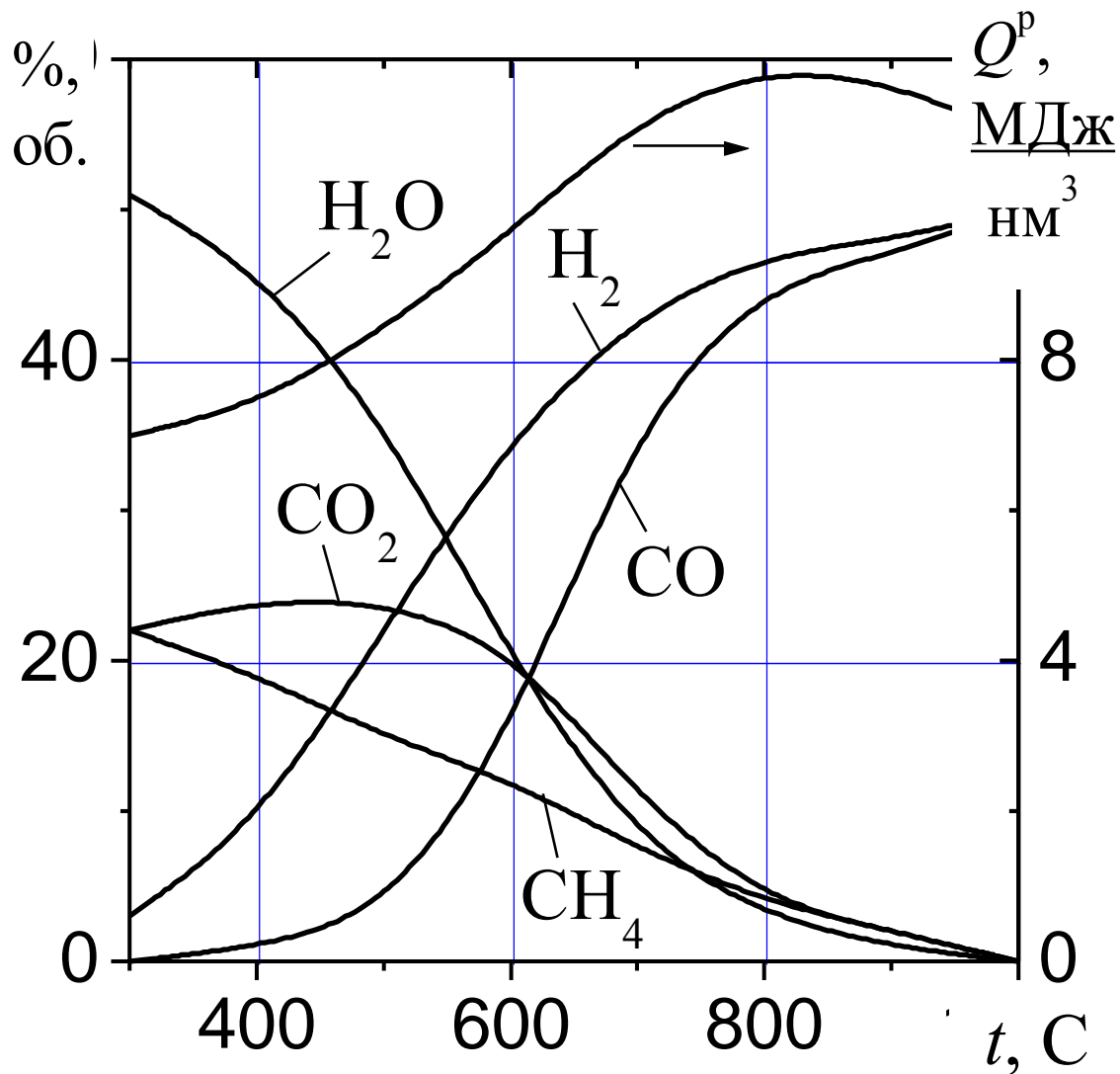
$$r = 2200 \text{ кДж}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{Г}}^{\text{ТВ.ОСТ}} = c_{\text{ТВ}} g_{\text{ТВ.ОСТ}} (t_{\text{Г}} - t_0),$$

$$c_{\text{ТВ}} = 1,3 \text{ кДж}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$$



# Зависимости составляющих и теплоты сгорания летучих пиролиза от температуры газификации абсолютно сухой древесины



## Газификация

это пиролиз, проведенный с целью максимального получения производного газообразного топлива.

Для осуществления процесса газификации древесины необходимо поддерживать равновесную температуру порядка  $900^{\circ}\text{C}$ , а для получения угля в результате пиролиза — температуру  $600-700^{\circ}\text{C}$ .

Преимуществом газификации биомассы являются:

1. Газ дешевле транспортировать на большие расстояния.
2. При сжигании твердых топлив с высоким содержанием влаги или минеральных примесей, невозможно получить высокие температуры, тогда как при сжигании газа, полученного из этого же топлива, такие температуры достижимы.
3. Из газа нетрудно удалить содержащуюся в нем влагу, которая является балластом, и газ можно подогреть перед сжиганием.

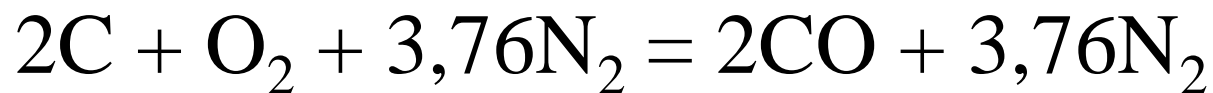
3. При сжигании газа требуется меньшее количество избыточного воздуха ( $\alpha = 1,02-1,05$ ), чем для кускового топлива ( $\alpha = 1,2-1,3$ ), благодаря повышается эффективность изъятия энергии содержащейся в топливе.

4. Легче автоматизировать процессы сжигания топлива.

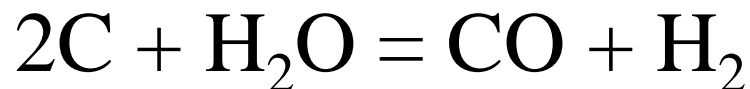
5. В процессе пиролиза при температуре ниже  $1000^{\circ}\text{C}$  не осуществляется плавление золы, а следовательно, не происходит шлакование газогенератора.

В зависимости от применяемого дутья (газифицирующего агента) различают следующие виды генераторных газов:

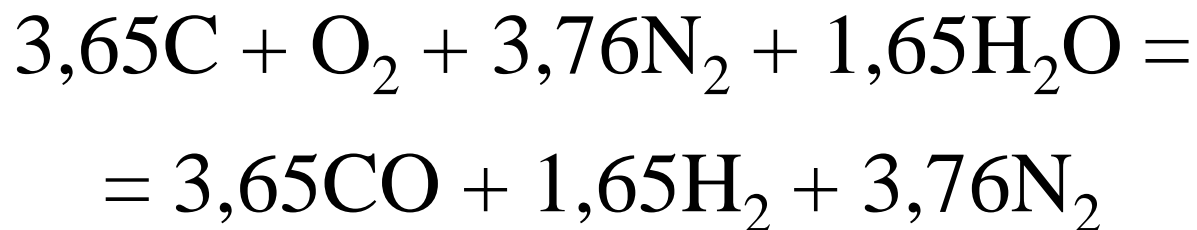
- воздушный ( $\text{CO} = 34,7\%$ ,  $\text{N}_2 = 65,3\%$ ,  $Q^p = 4,4 \text{ МДж/м}^3$ ),



- паровой ( $\text{CO} = 50\%$ ,  $\text{H}_2 = 50\%$ ,  $Q^p = 10\text{--}11 \text{ МДж/м}^3$ ),



- паровоздушный ( $\text{CO} = 40\%$ ,  $\text{H}_2 = 18\%$ ,  $\text{N}_2 = 42\%$ ,  $Q^p = 5,5 \text{ МДж/м}^3$ ),



- парокислородный ( $\text{CO} = 68\%$ ,  $\text{H}_2 = 32\%$ ,  $Q^p = 12 \text{ МДж/м}^3$ ).



Газификация осуществляется в газогенераторах, которые делятся на:

- автотермические — в которых сжигание части топлива и газификация протекают совместно в едином газогенераторном объеме;
- аллотермические — в которых сжигание и газификация разделены и тепло для прохождения процесса газификации проводится через теплопередающую стенку или при помощи автономного теплоносителя.

Автотермические и аллотермические  
газогенераторы по конструктивным  
особенностям реакционной зоны  
классифицируют:

- в неподвижном плотном слое (газификация крупнокускового топлива);
- в псевдоожигенном слое (газификация мелкокускового топлива);
- в факеле (газификация пылевидного топлива).