

ГАЗОГЕНЕАТОР С САМООБОГРЕВОМ ДЛЯ ВОЗДУШНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ

Дубинин А.М., Филиппов Д.В., Тупоногов В.Г., Ляхов Е.В.

ГОУ-ВПО Уральский государственный технический университет – УПИ
Екатеринбург, Россия

SELF-HEATED GASIFIER USED FOR AIR GASIFICATION OF COAL

Dubinin A.M, Filippov D.V., Tuponogov V.G., Lyahov E.V.

Urals state technical university – UPI
Yekaterinburg, Russia

Газификация бурых углей применяется для выработки газа, который в дальнейшем используется в качестве восстановительной атмосферы в металлургии; для энергетических целей, а также для получения жидкого топлива. Однако, многие существующие технологии газификации предусматривают кислородное дутье, что обуславливает значительные затраты на сооружение и эксплуатацию блоков разделения воздуха.

Одним из наиболее распространенных способов получения газа из углей является газификация в кипящем слое [1,2]. Воздушная газификация бурых углей в кипящем слое позволяет получить горючий газ без использования кислородного дутья.

В кипящем слое одновременно идут две реакции: $2C + O_2 + 3,76N_2 = 2CO + 3,76N_2$ – частичного горения углерода с выделением теплоты и $C + CO_2 + 3,76N_2 = 2CO + 3,76N_2$ – эндотермическая реакция взаимодействия оставшегося углерода с диоксидом углерода. Часть продуктов газификации (1-x) поступает на горение со вторичным воздухом, где выделяется теплота: $2CO + 3,76N_2 + O_2 + 3,76N_2 = 2CO_2 + 7,52N_2$. Продукты газификации и полного сгорания углерода отводятся отдельно.

При идеальном перемешивании твердой фазы в газогенераторе с кипящим слоем стационарную задачу о распределении температуры и концентраций реагирующих компонентов можно описать следующей системой уравнений:

$$(1-x) \cdot [q_{x1} \cdot (1-q_3 - q_4)] + q_y + q_{ey} + q_{e1} + q_{e2} \cdot (1-x) + q_{x0} = c_{nc}(1-x) \cdot t + c_{nz} \cdot x \cdot t + q_{x3} \cdot \left(1 - \frac{r_{CO_2}^L}{0,21}\right) + q_{нув} \quad (1)$$

$$-\frac{G_c \cdot 6,72}{r_{nz}^0 \cdot e \cdot (1 - 0,5 \cdot r_{CO})} \frac{dr_{O_2}}{dz} = C_c \cdot K_2 \cdot r_{O_2} \cdot \frac{P}{P_0} \quad (2)$$

$$\frac{G_c \cdot 6,72}{r_{nz}^0 \cdot e \cdot (1 - 0,5 \cdot r_{CO})} \frac{dr_{CO_2}}{dz} = C_c \cdot (K_2 \cdot r_{O_2} - K_3 \cdot r_{CO_2}) \cdot \frac{P}{P_0} \quad (3)$$

$$\frac{G_c \cdot 6,72}{r_{nz}^0 \cdot e \cdot (1 - 0,5 \cdot r_{CO})} \frac{dr_{CO}}{dz} = 1,66 \cdot C_c \cdot r_{CO_2} \cdot K_3 \cdot \frac{P}{P_0} \quad (4)$$

$$C_c^L = C_c^0 \cdot \left[1 - \frac{53 \cdot [4,76 \cdot (r_{CO_2}^L + r_{O_2}^L) + 2,88 \cdot r_{CO}^L] \cdot [r_{CO}^L + r_{CO_2}^L]}{4,76 \cdot (r_{CO_2}^L + 0,5 \cdot r_{CO}^L + r_{O_2}^L) \cdot 22,4}\right] \quad (5)$$

$$r_{N_2} = 1 - (r_{O_2} + r_{CO} + r_{CO_2}) \quad (6)$$

где:

q_{x0} – теплота экзотермической реакции частичного горения углерода $2C+O_2+3,76N_2 = C+CO_2+3,76N_2$, отнесенная к массе исходного углерода, равная 16410 кДж/кг;

q_{x3} – теплота эндотермической реакции $C+CO_2+3,76N_2 = 2CO+3,76N_2$, отнесенная к массе исходного углерода, равная 8031 кДж/кг;

q_{x1} – теплота экзотермической реакции горения оксида углерода $2CO+3,76N_2+O_2+3,76N_2 = 2CO_2+7,52N_2$, отнесенная к массе углерода, равная 16507 кДж/кг;

q_y ; $q_{вy}$; $q_{в1}$; $q_{в2}$ – теплота, вносимая в газогенератор с углем, влагой угля, воздухом, подаваемым на газификацию и горение, отнесенные к массе угля и равные соответственно 27, 66, 116, 277 кДж/кг;

$q_{нвy}$ – теплота, затраченная на нагрев и испарение влаги угля, отнесенная к массе углерода и равная 1230 кДж/кг;

q_3 ; q_4 – потери теплоты с химическим недожогом и уносом угля, приняты равными 0,03 и 0,02 соответственно;

C_{ng} и C_{nc} – удельные теплоемкости продуктов газификации и сгорания, равные 9,68 и 9,2 кДж/(кг·К), отнесенные к массе исходного углерода, соответственно;

x – доля продуктов газификации, отводимая из газогенератора для полезного использования, а $(1-x)$ – на сжигание для повышения температуры в кипящем слое;

G_C – массовая скорость углерода на входе в кипящий слой, равная 0,12 кг/(с·м²);

r_{ng}^0 – плотность продуктов газификации при нормальных условиях, равная 1,51 кг/м³;

C_C^L – концентрация углерода в слое;

C_C^0 – концентрация углерода на входе в слой, равная 0,52 кг/м³;

P , P_0 – давление в газогенераторе и атмосферное давление, равные 0,1 МПа;

r_{O_2} ; r_{CO} ; r_{CO_2} ; r_{N_2} – объемные доли кислорода, оксида углерода, диоксида углерода и азота в продуктах газификации, м³/м³;

K_2 , K_3 – константы скоростей реакций взаимодействия углерода с кислородом и углерода с диоксидом углерода, м³/(с·кг), взяты из [3];

R – универсальная газовая постоянная, 8,314 Дж/(моль·К);

t – температура в кипящем слое, °С;

e – порозность кипящего слоя, равная 0,5.

Расчеты показывают, что при увеличении доли продуктов газификации, идущих на сгорание $(1-x)$ увеличивается температура в кипящем слое и теплота сгорания Q_i^r , но количество полезно отводимого продукта газификации уменьшается. Однако, произведение $B \cdot x \cdot Q_i^r$, кВт (где B – производительность газогенератора по продуктам газификации, м³/с) имеет экстремальный характер и достигает максимума 44 кВт при $x = 0,925$. При этих условиях температура кипящего слоя составляет 815 °С, теплота сгорания продуктов газификации 3629 кДж/м³.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтшурер В.С., Сеченов Г.П. Процессы в кипящем слое под давлением. М.: Наука, 1963. 214 с., ил.
2. Альтшурер В.С. Новые процессы газификации твердого топлива. М.: Недра, 1976. 280 с., ил.
3. Лавров Н.В. Физико-химические основы горения и газификации топлива. М.: Металлургиздат, 1957. 288с.