

ГАЗИФИКАЦИЯ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

Лекция 2. Материальный и тепловой баланс газификатора.

Лектор:

Доцент НОЦ И.Н. Бутакова

Слюсарский Константин Витальевич

Вопросы на остаточные знания

- Какие типы газификаторов вы знаете?
- Назовите основные материальные потоки газификатора.
- Назовите основные энергетические потоки газификатора.
- Назовите основные потери газификатора/ котлоагрегата/парогенератора?
- В чем отличие КПД котлоагрегата и теплообменника?

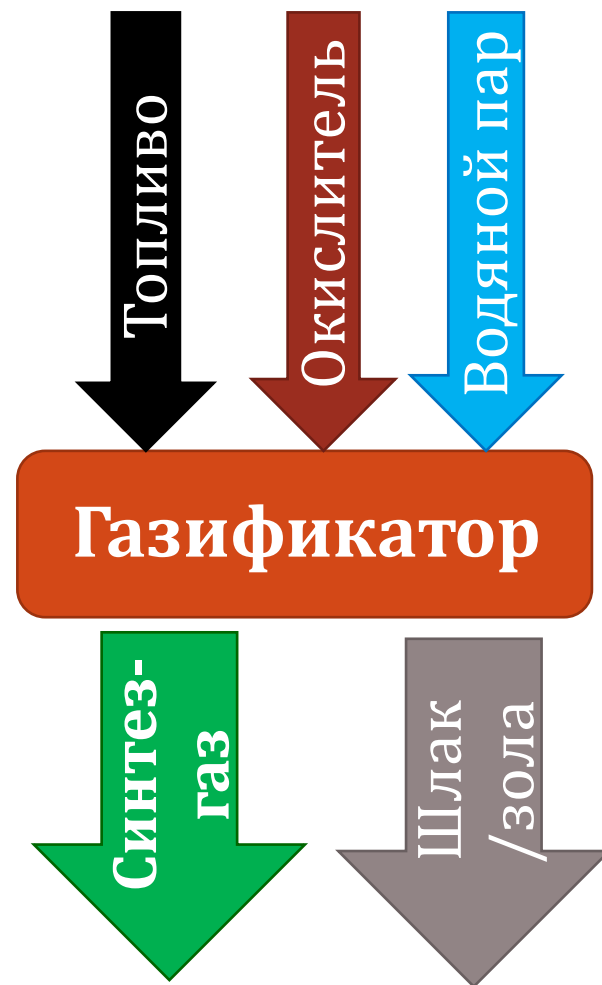
Материальный баланс газогенератора

Материальный баланс газификатора складывается из:

- На входе:
 - топлива (уголь, биомасса, мазут);
 - окислителя (воздух, кислород);
 - водяного пара (опционально);
 - подсветка/рециркуляция газа.
- На выходе:
 - синтез-газ;
 - шлак/зола.

Суммарный массовый расход компонент на входе приравнивается к расходу компонент на выходе.

$$G_{\text{топ}} + G_{\text{ок}} + G_{\text{пар}} = G_{\text{с.г.}} + G_{\text{шлак}}$$



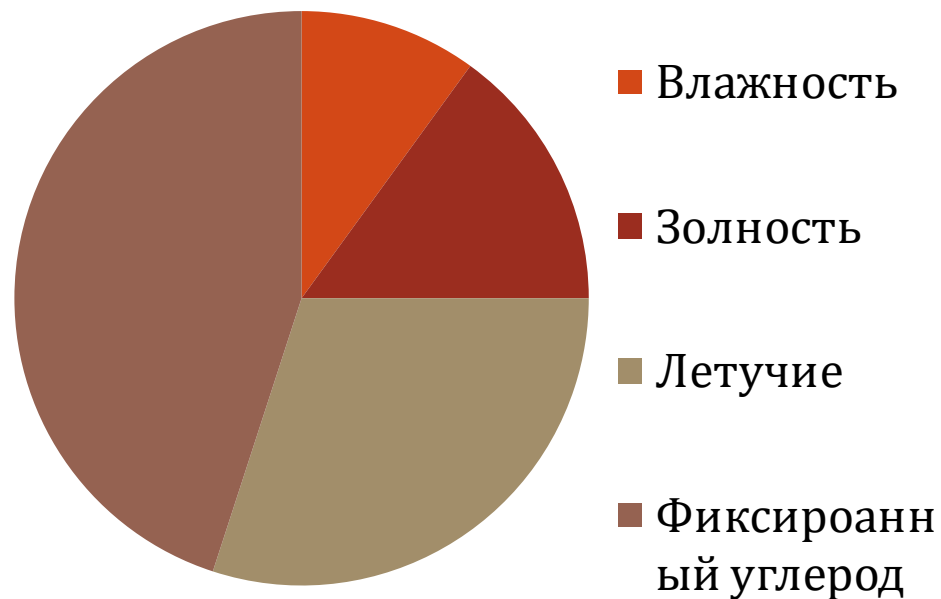
Материальный баланс газогенератора

Ввиду многокомпонентности используемых исходных веществ и продуктов реакции, дополнительно к общему материальному балансу необходимо соблюдение баланса каждого элемента: С, Н, О (основные элементы), N, Cl, S (дополнительные).

Для формирования указанных балансовых уравнений необходимо знание состава каждого из реагентов.

1. Топливо. Состав:

1. Влага.
2. Зола.
3. Летучие.
4. Фиксированный углерод.
5. Примеси, а именно:
сера, азот, водород, хлор.



Материальный баланс газогенератора

2. Синтез-газ. Состав:

1. Основные компоненты (более 90 % состава):

1. Диоксид углерода CO_2 .
2. Моноксид углерода CO .
3. Водород H_2 .
4. Водяной пар H_2O .
5. Метан CH_4 .

2. Дополнительные компоненты:

1. Углеводороды широкого спектра C_xH_y .
2. Оксиды серы SO_x и азота NO_x .
3. Сероводород H_2S .
4. Аммиак NH_3 .

Энергетический баланс газогенератора

1. Теплосодержание материальных потоков

1. Исходных веществ:

1. Основного и вспомогательного топлива
2. Окислителя (воздуха/кислорода)
3. Восстановителя (водяного пара)

2. Продуктов реакции:

1. Синтез-газ
2. Золы/шлака

2. Тепловой эффект реакции

3. Тепловые потери:

1. Тепловые потери с поверхности
2. Потери теплоты с золой уноса

Базовые уравнения

1. Переход от мольных долей к массовым и наоборот:

$$v_i = \frac{g_i / \mu_i}{\sum g_i / \mu_i} \quad g_i = \frac{v_i \cdot \mu_i}{\sum v_i \cdot \mu_i}$$

2. Теплоемкость смеси:

$$c_{p \text{ см}} = \sum g_i \cdot c_{p i}$$

3. Молярная масса смеси:

$$\mu_{\text{см}} = \sum v_i \cdot \mu_{i \text{ см}}$$

4. Теплотворная способность смеси газов:

$$Q = \sum Q_{Vi} \cdot v_i = \sum Q_{mi} \cdot g_i$$

Энергетический баланс газогенератора

Теплосодержание материальных потоков.

- Удельное теплосодержание потока синтез-газа:

$$q_{с-г} = g_{с-г} \cdot h_{с-г} = g_{с-г} \cdot (h_{298} + c_{pс-г} \cdot (T_{с-г} - 298))$$

где $g_{с-г}$ – удельный расход синтез-газа на 1 кг основного топлива, кг/кг топлива; h_{298} – энтальпия синтез-газа при 298 К, кДж/кг; $c_{pс-г}$ – теплоемкость синтез-газа, кДж/(кг·°С).

- Полное теплосодержание потока синтез-газа:

$$Q_{с-г} = q_{с-г} \cdot G_T$$

где G_m – полный расход основного топлива, кг/с.

- Удельное и полное теплосодержание потока шлака:

$$q_{ш} = g_{ш} \cdot h_{ш} = A \cdot \left(\frac{h_{298} + c_{pш} \cdot (T_{ш} - T_{пл}) + r + c_{pш} (T_{пл} - 298)}{r + c_{pш} (T_{пл} - 298)} \right)$$

где A – зольность топлива, кг/кг топлива; r – энтальпия плавления золы, кДж/кг.

Энергетический баланс газогенератора

Теплосодержание уходящих материальных потоков.

- Удельное теплосодержание потоков окислителя и пара:

$$q_{\text{ок}} = g_{\text{ок}} \cdot h_{\text{ок}}$$

$$q_{\text{пар}} = g_{\text{пар}} \cdot h_{\text{пар}}$$

- Удельное и полное теплосодержание топлива:

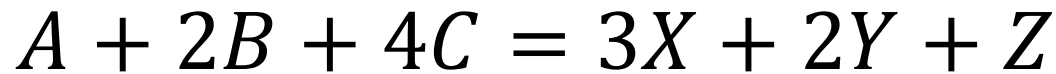
$$q_{\text{топ}} = h_{\text{топ}}$$

Поскольку нагрев топлива представляет собой достаточно сложную задачу ввиду его комплексного состава и определяется на основе экспериментальных данных. Ввиду низкой температуры топлива и незначительности его энтальпии в ряде случаев данной энтальпией допустимо пренебречь.

Важно! В ряде учебников в теплосодержание топлива включается теплота его сгорания. В таком случае теплота сгорания также должна включаться в теплосодержание синтез-газа.

Тепловой эффект реакции

Тепловой эффект произвольной химической реакции может быть определен как разность сумм энтальпий образования исходных веществ и продуктов реакции с учетом стехиометрических коэффициентов при температуре протекающей реакции.



$$Q = (H^{\circ}_{fTA} + 2 \cdot H^{\circ}_{fTB} + 4 \cdot H^{\circ}_{fTC}) - \\ - (3 \cdot H^{\circ}_{fTX} + 2 \cdot H^{\circ}_{fTY} + 4 \cdot H^{\circ}_{fTZ})$$

Положительная величина полученного теплового эффекта свидетельствует о выделении теплоты в результате реакции, отрицательная – о его поглощении.

Важно! Т.к. энтальпия образования определяется на моль вещества, то для применения в балансе привести к единицам массы (пересчитать на 1 кг).

Тепловой эффект реакции

Энтальпия образования вещества при определенной температуре может быть определена как:

$$H^{\circ}_{f,T} = H^{\circ}_{f,298} + c^{\circ}_p(T - 298)$$

где $H^{\circ}_{f,T}$ – энтальпия образования вещества при 298 К;
 c°_p – средняя теплоемкость в диапазоне от 298 до T,
 кДж/(моль °С).

Важно! Энтальпия образования определяется на 1 моль.

№ по пор.	Вещество	$\Delta H^{\circ}_{f, 298}$ кДж/моль	S°_{298} дж/моль·град	Теплоемкость, дж/моль·град			
				Коэффициенты уравнения $C^{\circ}_p = \psi(T)$			$C^{\circ}_{p, 298}$
				a	b · 10 ³	c' · 10 ⁻⁵	
I. Простые							
1	Ag (кр.)	0	42,69	23,97	5,28	-0,25	25,48
2	Al (кр.)	0	28,31	20,67	12,39	—	24,34
3	As (кр.)	0	35,1	21,9	9,29	—	24,64
4	Au (кр.)	0	47,45	23,68	5,19	—	25,23
5	B (кр.)	0	5,87	6,44	18,4	—	11,96
6	Ba-α	0	(64,9)	22,26	13,8	—	26,36

Энергетический баланс газогенератора

Тепловые потери газогенератора – потери теплоты со стенки газогенератора в окружающую среду (в случае высокотемпературной изоляции шамотный кирпичом) и/или на охлаждение газогенератора (в случае использования водяной рубашки), а также потери теплоты с уносом золы и в шламовой ванне.

Важно! Потери теплоты, связанные с теплотой уходящего шлака, не учитываются, если данный поток был учтен ранее.

Важно! По аналогии с тепловым расчетом камеры сгорания, в ряде источников тепловые потери принимаются в виде доли от положительного теплового эффекта реакции.

$$Q_{\text{нж}} = Q_{\text{с}} \cdot C_{\text{нж}} \quad Q_{\text{ст}} = k \cdot F \cdot (T_{\text{газ}} - T_{\text{ос}}) = 2-5 \% \text{ от } Q_{\text{полн}}$$

Показатели эффективности газогенератора

КПД газификатора – отношение полезной теплоты газогенератора к подведенному теплу в виде физической теплоты дутья, теплотворной способности топлива и прочих методов.

Основные виды КПД газогенераторов:

1. КПД газификации (КПД газификатора в пересчете на холодный газ) в случае автотермического процесса:

$$\eta_{\text{газ-ции}} = \frac{G_{\text{с-г}} \cdot Q_{\text{с-г}}}{B_{\text{т}} \cdot Q_{\text{т}}}$$

2. КПД газификатора по верхнему/нижнему пределу:

$$\eta_{\text{газ-ра}} = \frac{G_{\text{с-г}} \cdot Q_{\text{с-г}}}{B_{\text{т}} \cdot Q_{\text{т}} + G_{\text{ок}} \cdot q_{\text{ок}} + G_{\text{пар}} \cdot q_{\text{верх.пар}} / q_{\text{нижн.пар}}}$$

3. Полный КПД газификатора:

$$\eta_{\text{газ-ра}} = \frac{G_{\text{с-г}} \cdot (Q_{\text{с-г}} + q_{\text{с-г}}) + q_{\text{рег}}}{B_{\text{т}} \cdot Q_{\text{т}} + G_{\text{ок}} \cdot q_{\text{ок}} + G_{\text{пар}} \cdot q_{\text{верх.пар}} / q_{\text{нижн.пар}}}$$

Вопросы на самоконтроль

- Что такое автотермический процесс?
 - *Это процесс, протекающий самостоятельно, без подвода тепла извне.*
 - *Это процесс, имеющий постоянные характеристики, не меняющиеся с течением времени.*
 - *Это процесс, в котором температура автоматически меняется при изменении свойств топлива.*
- Какие материальные потоки не присутствуют в газогенераторе?
 - *Поток топлива.*
 - *Поток окислителя.*
 - *Поток золы уноса.*
 - *Поток потерь тепла через стенку.*
- Как определяется тепловой эффект произвольной реакции?
 - *По справочникам.*
 - *Как разница энтальпий образования продуктов и исходных веществ.*
 - *Как сумма теплотворной способности продуктов реакции.*
- Какой из представленных КПД газогенератора будет наибольшим?
 - *КПД газификатора.*
 - *КПД газификатора по верхнему пределу.*
 - *КПД газификатора по нижнему пределу.*
 - *КПД газификатора как теплообменника..*

Спасибо за
внимание!

Тема следующей лекции: «Балансовый
расчет газификатора. Материальный и
тепловой баланс».