



УДК 628.4

**Барышева О.Б.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [obbars@mail.ru](mailto:obbars@mail.ru)

**Хабибуллин Ю.Х.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [a0an@mail.ru](mailto:a0an@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

### Влияние недогорания твердых бытовых отходов при термоутилизации на образование токсичных веществ

#### Аннотация

В приводимой статье рассматривается утилизация твердых бытовых и промышленных отходов (ТБО). Процесс утилизации является мировой проблемой, возникшей в результате ухудшения экологической обстановки. Обычно состав ТБО зависит от специфики производства. Твердые бытовые отходы могут содержать строительные, медицинские, пищевые отходы, бумагу, древесину, различные синтетические материалы, древесные опилки, металлическую стружку и т.д. При горении твердых бытовых отходов возможно недогорание некоторых металлических компонентов. Поэтому актуально рассмотрение теории процессов горения твердых бытовых отходов.

**Ключевые слова:** твердые бытовые отходы, термическая утилизация, токсичные газообразные вещества.

Для расчета химического состава продуктов сгорания и параметров процесса горения необходимы данные об элементном составе исходных веществ (окислителе и горючем) и о потенциальной энергии, поступающей в химический реактор с компонентами топлива [1].

Тепловые эффекты химических реакций горения, фазовых переходов, полиморфных превращений и других процессов, протекающих при постоянном давлении (что характерно и для топочных устройств), характеризуются изменением энтальпии. Используемые в термодинамических расчетах величины энтальпий имеют относительные значения с некоторым условным началом отсчета.

В теплотехнических расчетах топочных устройств традиционно пользуются низшей теплотой сгорания (теплотворностью)  $H_u$ . Энтальпия топлива (окислитель+горючее)  $i_T(T_0)$  и теплотворность  $H_u$  связаны зависимостью:

$$i_T(T_0) = H_u / (1 + k_m^o) + i_{nc}(T_0), \quad (1.1)$$

где  $k_m^o$  – массовый стехиометрический коэффициент,  $i_{nc}(T_0)$  – энтальпия недиссоциированных газообразных продуктов сгорания при стандартной температуре  $T_0$ .

Расчет состава и параметров процесса горения при неполном сгорании горючего или его ингредиентов производится с использованием методов химической кинетики.

Однако, если задать некоторое значение полноты сгорания  $\chi$ , то параметры горения можно определить в равновесном приближении с использованием методов расчета, изложенных в [2].

При полноте сгорания  $\chi$  несгоревшая доля металла составит  $(1-\chi)$ . Массовая доля металла  $g_{is}$  в условной молекуле топлива (окислитель+горючее) равна:

$$g_{is} = \frac{b_{is}\mu_i}{\mu_T}, \quad (1.2)$$

где  $\mu_i$  и  $\mu_T$  – молекулярная массы компонента  $i$  и топлива соответственно, индекс «s» обозначает конденсированное (жидкое или твердое) вещество.

С учетом недогорания получим выражение для определения числа атомов не окисляющейся части металла  $b_{isT}^*$  в условной молекуле топлива:

$$g_{is}(1-\chi) = b_{isT}^* \mu_i / \mu_T, \quad (1.3)$$

откуда:

$$b_{isT}^* = g_{is}(1-\chi) \mu_T / \mu_i. \quad (1.4)$$

Теперь в условной молекуле топлива количество атомов металла, участвующих в горении, составит:

$$b_{isT} = b_{isT}^{(нач)} - b_{isT}^*, \quad (1.5)$$

где  $b_{isT}^{(нач)}$  – первоначальное значение числа атомов металла  $i$  в химической формуле условной молекулы топлива.

Влияние недогорания металла на температуру горения топлива учитывается через изменение энтальпии. Поскольку теплота образования металлов в стандартных условиях равна нулю, уменьшение количества атомов металла в условной молекуле топлива не изменит энтальпию топлива при стандартной температуре. В энтальпии продуктов сгорания необходимо учесть нагрев несгорающего металла до температуры горения. С этой целью вначале определим число молей несгоревшего металла  $n_{is}^*$  в продуктах сгорания. Из расчета процесса горения топлива без учета недогорания металла определяется средняя молекулярная масса продуктов сгорания  $\mu$ . Используя значение  $\mu$ , найдем:

$$n_{is}^* = \frac{g_{is}(1-\chi)p\mu}{\mu_i}, \quad (1.6)$$

где  $p$  – давление.

Значение энтальпии продуктов сгорания теперь можно представить в виде:

$$i_{nc} = \frac{\sum n_g I_g + \sum n_{gs} I_{gs} + n_{is}^* I_{is}}{p\mu}, \quad (1.7)$$

где  $I_g$ ,  $I_{gs}$  – энтальпия компонента в газовой фазе, в конденсированной фазе, соответственно.

Температура сгорания вычисляется с использованием балансового соотношения для энтальпии:

$$i_T = i_{nc}. \quad (1.8)$$

При значительном содержании металла в горючем и существенном его недогорании после определения температуры сгорания с учетом недогорания части металла следует уточнить значение  $n_{is}^*$  при новом  $\mu$ , и процесс нахождения температуры примет итерационный характер.

Массовые доли каждого химического элемента  $i$  в условной молекуле горючего в соответствии с зависимостью (1.2) равны:

$$g_i = b_{iT} \mu_i / \mu_T.$$

С учетом недогорания части горючего получим числа атомов химических элементов той части горючего, которая не участвует в реакциях горения:

$$b_{i\Gamma}^* = g_i(1-\chi)\mu_{\Gamma}/\mu_i,$$

где  $\chi$ , как и прежде, полнота сгорания.

Химическая формула условной молекулы части горючего, участвующего в реакциях горения, будет содержать числа атомов химических элементов, определяемых по зависимости:

$$b_{i\Gamma} = b_{i\Gamma}^{(\text{нач})} - b_{i\Gamma}^*.$$

Для учета влияния недогорания горючего на температуру горения вначале найдем энтальпию топлива (окислитель+горючее) с учетом недогорания горючего:

$$i_{\Gamma}(T_0) = \chi H_u / (1 + k_m^0) + i_{\text{пс}}(T_0), \quad (1.9)$$

где массовый стехиометрический коэффициент  $k_m^0$  определяется с использованием первоначального химического состава условной молекулы горючего.

Энтальпия горючего теперь определяется из соотношения:

$$i_{\Gamma} = i_{\Gamma}(1 + k_m^0) - k_m^0 i_{\text{ок}}. \quad (1.10)$$

Полученное значение энтальпии горючего будет отличаться от энтальпии горючего без учета недогорания вычисляемой с использованием зависимостей (1.1) и (1.10). Предполагается, что в энтальпиях будут учитываться все эффекты, связанные с недогоранием горючего.

Далее, как обычно, определяется химическая формула условной молекулы топлива с использованием зависимости:

$$b_{i\Gamma} = b_{i\Gamma} + \alpha_{\text{ок}} \varepsilon^0 b_{i\text{ок}}, \quad (1.11)$$

где  $\varepsilon^0$  – мольное стехиометрическое соотношение компонентов (или с использованием  $k_m^0 = \alpha_{\text{ок}} k_m^0$  по соотношениям, изложенным в [2]) и энтальпия топлива:

$$i_{\Gamma} = \frac{i_{\Gamma} + \alpha_{\text{ок}} k_m^0 i_{\text{ок}}}{1 + \alpha_{\text{ок}} k_m^0}. \quad (1.12)$$

В качестве примера на рисунке приведена зависимость расчетных значений мольных долей оксида азота и оксида углерода от полноты сгорания металла в ТБО для продуктов сгорания твердых бытовых и промышленных отходов в воздухе при стехиометрическом соотношении компонентов и давлении  $p=0,1$  МПа, где  $x_{\text{NO}}$  и  $x_{\text{CO}}$  – мольные доли оксидов азота и углерода.

Их поведение обусловлено увеличением количества свободного кислорода при уменьшении полноты сгорания.

Из рисунка видно, что при увеличении полноты сгорания уменьшается содержание в продуктах сгорания оксида азота NO и увеличивается содержание оксида углерода CO.

Для достижения достаточно высокого уровня температур в реакционной зоне, полного окисления твердых бытовых и промышленных отходов можно использовать воздух, обогащенный кислородом.

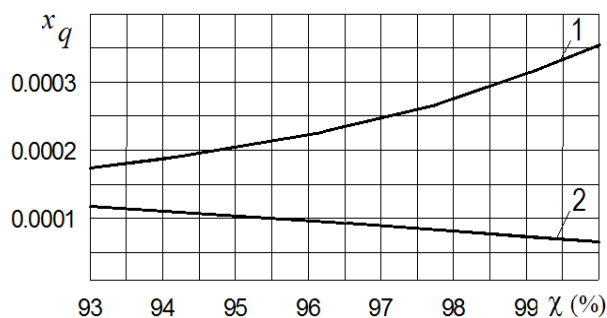


Рис. Зависимость расчетных значений мольных долей оксида азота и оксида углерода от полноты сгорания металла в ТБО: 1 –  $x_{CO}$ , 2 –  $x_{NO}$

В более точном варианте учета недогорания горючего следует использовать стандартное (без исправления за счет недогорания) значение горючего, поскольку энтальпия вещества не зависит от его количества, но необходимо учитывать химические и фазовые превращения части горючего, не участвующей в процессе горения, при нагреве до температуры горения.

Различные промышленные установки, использующие термические методы обезвреживания твердых промышленных и бытовых отходов, могут являться источниками выбросов чрезвычайно токсичных веществ, в частности, полихлорированных дибензодиоксинов (ПХДД) и полихлорированных дибензофуранов (ПХДФ).

Образование этих веществ определяется как наличием диоксинов в твердых отходах, поступающих на переработку, так и синтезом диоксинов непосредственно в термическом реакторе за счет реакций органического углерода с  $Cl_2$ ,  $HCl$  или хлора, входящего в состав органических соединений.

В низкотемпературных зонах тракта дымовых газов ( $T=550-700$  К) в присутствии катализаторов в виде металлических поверхностей тракта, поверхностей частиц летучей золы возможен дополнительный синтез диоксинов.

Для достижения высокой экологической эффективности термических установок необходимо обеспечить полное окисление органических компонентов в термическом реакторе и перевод всех соединений хлора в минеральные хлориды непосредственно в высокотемпературной зоне с последующим глубоким обеспыливанием газов при температурах более 750 К. В связи с этим необходимо поддерживать температуру газов в термическом реакторе на уровне  $T \geq 1550$  К, время пребывания газов в реакционной зоне при указанной температуре не менее 2 секунд, а состав газовой фазы должен соответствовать коэффициенту избытка воздуха в дымовых газах, равным  $\alpha_{ок}=1,08-1,2$ .

### Список литературы

1. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания. /Справочник в 10-и томах под ред. В.П. Глушко. – М.: АН СССР-ВИНИТИ, 1971...1980.
2. Алемасов В.Е., Дрегалин А.Ф., Черенков А.С. Основы теории физико-химических процессов в тепловых двигателях и энергетических установках. – М.: Химия, 2000. – 520 с.

**Barysheva O.B.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [obbars@mail.ru](mailto:obbars@mail.ru)

**Khabibullin Iu.Kh.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [a0an@mail.ru](mailto:a0an@mail.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Zelenaya, 1

## The influence of unburned for thermal utilization of solid municipal waste on formation of toxic gaseous substances

### Resume

The industrial settings, using the thermal methods of rendering of hard industrial and domestic wastes harmless, can be the sources of extras of extraordinarily toxic matters, in particular, Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane (PCDD/PCDF).

Formation of these matters is determined both the presence of dioxins in hard wastes, acting's on processing and synthesis of dioxins directly in a thermal reactor due to the reactions of organic carbon with  $\text{Cl}_2$ , HCl or chlorine, entering in the complement of organic compounds.

In the low temperature areas of highway of smoke gases ( $T \sim 550-700 \text{ K}$ ) in presence catalysts as metallic surfaces of highway, surfaces of particles of volatile ash the additional synthesis of dioxins is possible.

For achievement of high ecological efficiency of the thermal settings it is necessary to provide complete oxidization of organic components in a thermal reactor and to translation of all connections of chlorine in mineral chlorides directly in a high temperature area with subsequent deep dust of gases at temperatures more 750 K.

It is in this connection necessary to support the temperature of gases in a thermal reactor at level  $T \geq 1550 \text{ K}$ , time of stay of gases in a reactionary area at the indicated temperature no less than 2 seconds, and composition of gas phase must correspond the coefficient of surplus of air in smoke gases, equal  $\alpha_{\text{ox}} = 1,08-1,2$ .

For achievement high level enough temperatures in a reactionary area, complete oxidization of hard domestic and industrial wastes it is possible to use air oxygen-rich.

**Keywords:** solid municipal waste, thermal utilization, toxic gaseous substances.

### References

1. Thermodynamic and heat physical properties of combustion products. / Book in volume 1-10. By V.P. Glushko redaction. – M.: USSR, Academy of Science, 1971...1980.
2. Alemasov V.E, Dregalin A.F., Cherenkov A.S. Physical and chemical processes theory of heat engines and energy units. – M.: Chem., 2000. – 520 p.