

# ***ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ***

УДК 628.477

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ**

ВАМБОЛЬ С.А.,<sup>1</sup> ВАМБОЛЬ В. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный университет гражданской защиты Украины,

<sup>2</sup>Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»

Рассмотрена проблема накопления твердых отходов, с содержанием углерода и углеродсодержащих соединений, обоснована ее актуальность. Предложено решение проблемы их повторного синтезирования при охлаждении газа, полученного газификацией отходов. Описана возможность получения энергетического сырья.

Ключевые слова: экологическая безопасность, утилизация, твердые отходы, диоксины, энергетическое сырье, многокомпонентные газовые смеси, низкотемпературное разделение.

## **ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY DURING THE THERMAL TREATMENT OF SOLID WASTE**

VAMBOL S.A., VAMBOL B.B.

In present paper we considers the problem of the accumulation and utilization of solid waste with carbon and carbon-containing compounds, substantiated its relevance. Offers a solution to the problem of re-synthesizing during a cooling gas. Described the opportunity to get energy commodities.

Key words: ecological safety, utilization, solid waste, dioxins, energy raw materials, multi-component gas mixtures, the low-temperature separation.

В настоящее время ситуация с отходами является угрожающей для экологической безопасности, а вопросы уменьшения их количества и предотвращения засорения окружающей природной среды – актуальными в Украине. Процесс накопления отходов прогрессирует, все чаще возникают несанкционированные свалки.

Наиболее распространенными способами утилизации отходов являются термические. Широкое применение пластика и различных полимерных материалов во многих отраслях промышленности, а также в производстве товаров народного потребления приводит к росту в отходах доли углерода и углеродсодержащих соединений, что при их термической обработке обуславливает увеличение количества различных поллютантов, включая супертоксичные, как диоксины. Они относятся к сильным ядам и являются дефолиантами. По причине стабильности к воздействию сильно щелочных и сильно кислых сред в

некаталитических условиях, диоксины накапливаются в природе, а период их разложения составляет десятки лет в почве и примерно два года в воде [1]. Они обладают высокой термостойкостью и разлагаются под воздействием температуры выше 1200 °С в течение двух секунд и более. При меньших температурах их терморазложение является обратимым процессом [2, 3] и наиболее интенсивное их повторное синтезирование происходит в интервале температур 300...450 °С. Углеродсодержащие материалы являются основой многих видов отходов. Таким образом, возникает необходимость не просто уменьшить количество отходов путем их уничтожения, а требуется обеспечить экологически безопасную и экономически эффективную утилизацию.

Экологическая безопасность и экономическая эффективность утилизации твердых отходов с содержанием углерода и его соединений, достигается поэтапной высокотемпературной их обработкой с помощью такой последовательности технологических операций, которая исключает образование высокотоксичных соединений и обеспечивает полное удаление углерода из смеси твердых веществ отходов [4].

Такая технология включает процессы термохимической газификации, плазменной обработки газов и твердого остатка, резкого охлаждения газов, их предварительной очистки, метанирования, окончательной очистки и низкотемпературного разделения полученных многокомпонентных газовых смесей для выработки энергоносителей. Ее особенностью является то, что перед газификацией в плазменном газогенераторе измельченные твердые отходы подвергают термохимической газификации с использованием топлива и паров воды, после чего их дополнительно газифицируют в плазменном газогенераторе, где любые опасные вещества и материалы разлагаются при температуре более 1200 °С. В результате образуется высококалорийный горючий газ и нейтральный твердый остаток в виде остеклованного шлака, вес которого значительно меньше, чем при других способах утилизации.

Эта технология позволяет предотвратить образование диоксинов при обработке отходов в реакторе и на выходе из него при охлаждении газа. В реакторе это достигается за счет высокой температуры плазменной струи, а на выходе из реактора – резким охлаждением полученных газов. Для этого в блоке охлаждения предусмотрен испарительный теплообменник с центробежными форсунками, обеспечивающий впрыскивание диспергированной жидкости в поток горячего воздуха, который выходит из плазменного реактора. Вопросы управления экологической безопасностью с использованием многофазных дисперсных структур для других задач описаны в работах [5, 6].

В процессе охлаждения газа температура капли диспергированной жидкости изменяется до момента достижения ею температуры кипения в соответствии с балансом тепла, определяемым уравнением:

$$m_p c_p \frac{dT_p}{dt} = \alpha A_v (T_\infty - T_p) + L \frac{dm_v}{dt}, \quad (1)$$

где  $c_p$  – теплоемкость капли;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи между каплями и газом, определяемый экспериментально;  $A_v$  – площадь поверхности капли;  $L$  – скрытая теплота испарения;  $T_p$  – температура капли;  $T_\infty$  – локальная температура газа.

Рассматривая движение элементарного объема газа в проточной части теплообменника, построена соответствующая контрольная струйка тока для нескольких вариантов подачи диспергированной жидкости (рисунок 1).

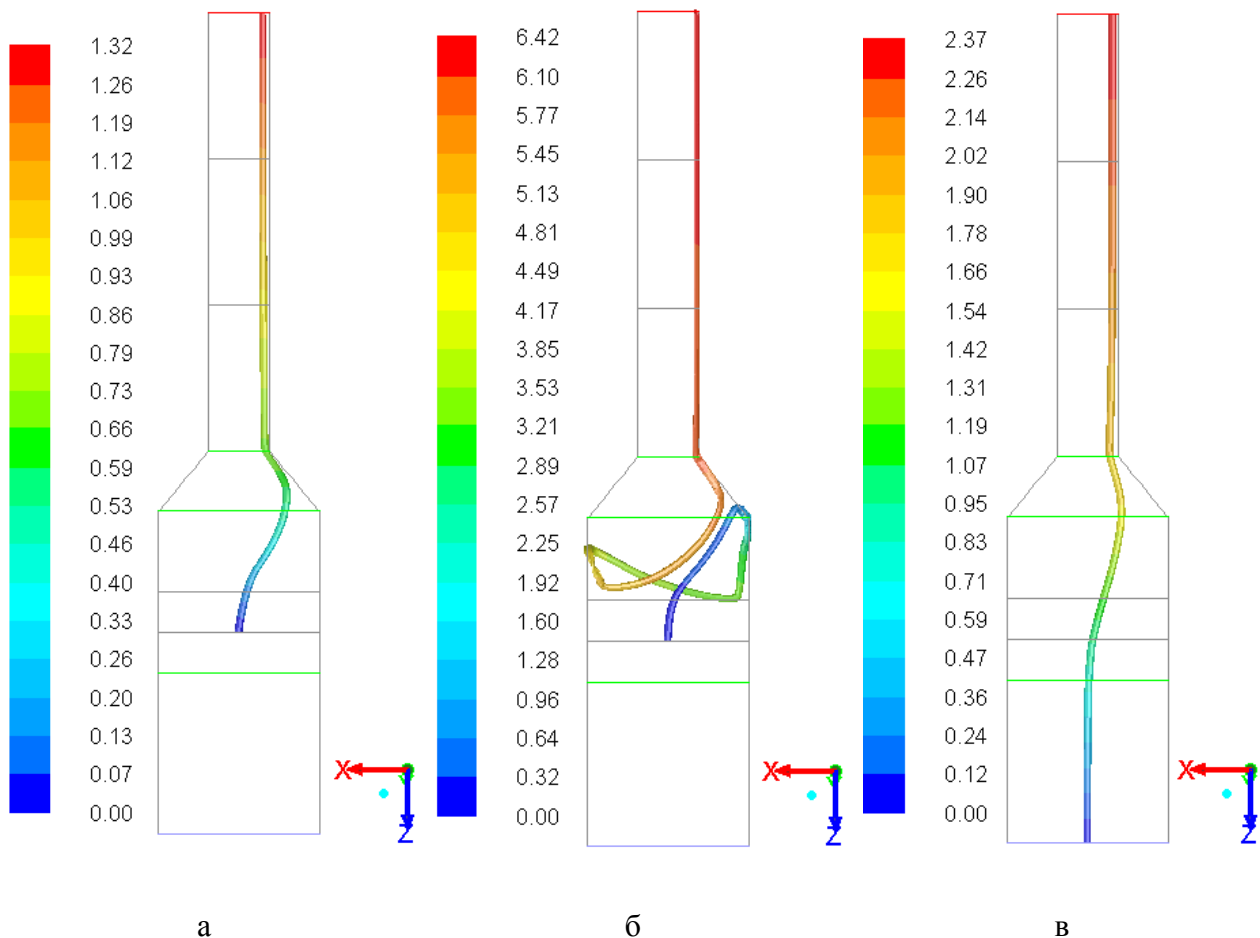


Рисунок 1 – Траектория движения элементарного объема газа (контрольная струйка тока): а, б, в – варианты подачи диспергированной жидкости

Полное время пребывания элементарного объема газа в проточной части теплообменника для трех вариантов составляет соответственно 1,32 с, 6,42 с и 2,37 с.

Максимальное охлаждение газа происходит во время его контакта с испаряющимися каплями впрыскиваемой воды (рисунок 2).



Рисунок 2 – Зависимость температуры газа ( $^\circ\text{C}$ ) от времени его охлаждения (с):

●, ●, ● – варианты подачи диспергированной жидкости; 1, 2, 3, 4 – контрольные сечения

Наиболее рациональным оказался режим, который обеспечивает снижение температуры газового потока с  $1200$  до  $305,8$   $^\circ\text{C}$  в течение  $1,32$  с, при этом расход воды составляет  $0,0036$  кг/с ( $12,7$  л/ч.) при охлаждении  $30$  м<sup>3</sup>/ч газа.

Полученный при газификации отходов синтез-газ может быть использован для отопления или поддержания процесса пиролиза и газификации. Однако, непостоянный химический состав отходов влияет на его теплотворную способность и расход при газификации вновь поступивших отходов. Кроме того, в связи с суточной и сезонной неравномерностью потребления синтез-газа, он может оказаться не востребованным и выброшенным в окружающую природную среду. Дальнейшая его переработка в энергетическое сырье пригодное для хранения и транспортирования позволяет исключить подобную ситуацию, а, следовательно, и негативное воздействие на объекты окружающей природной среды.

В работах [4, 7, 8] предложена методика расчета энерготехнологической установки для низкотемпературного разделения газовых смесей. Определены используемые функциональные элементы, каждый из которых описан набором уравнений. Установлены связи между функциональными элементами по принципу: «выход из элемента А – вход в элемент Б». Процесс разделения многокомпонентных углеводородных смесей в ректификационной колонне описывается системой уравнений:



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федоров, Л. А. Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспективы [Текст] / Л. А. Федоров. – М.: Наука, 1993. – 266 с.
2. Бернадинер, М. Н. Диоксины при термическом обезвреживании органических отходов [Текст] / М. Н. Бернадинер // Экология и промышленность России. – 2000. – № 2. – С. 13–16.
3. Гречко, А. В. Региональный характер проблемы твердых бытовых и промышленных отходов и ее решение пирометаллургическим методом [Текст] / А. В. Гречко, В. Ф. Деннисов, Л. А. Федоров // Экология и промышленность России. – 1997. – № 10. – С. 13–16.
4. Математическое описание процессов разделения газовых смесей, образующихся при термической утилизации отходов [Текст] / С. А. Вамболь, Ю. В. Шахов, В. В. Вамболь, И. И. Петухов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 1/2 (79). – С. 35–41.
5. Моделирование системы управления экологической безопасностью с использованием многофазных дисперсных структур при взрыве метановоздушной смеси и угольной пыли в подземных горных выработках угольных шахт [Текст] / С. А. Вамболь, Ю. А. Скоб, Н. В. Нечипорук, О. А. Трухмаев // Вестник Казанского технологического университета. – Казань: Казанский нац. исслед. техн. ун-т, 2013. – Т. 16. – № 24. – С. 168–174.
6. Математическая модель поведения дисперсных структур в атмосфере [Электронный ресурс] / В. Е. Костюк, Е. И. Кирилад, В. Н. Кобрин, С. А. Вамболь // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. – Вып. 4 (50). – Режим доступа: <http://academygps.ru/img/UNK/asit/ttb/2013-4/07-04-13.ttb.pdf>.
7. Шахов, Ю. В. Математическая модель энерготехнологической установки для разделения многокомпонентных газовых смесей [Текст]: сб. науч. пр. / Ю. В. Шахов, И. И. Петухов, В. В. Вамболь // Вісник НТУ «ХП». Сер. Математичне моделювання в техніці та технологіях. – 2015. – № 41 (1150). – С. 134–139.
8. Матмодель расчета сепаратора и компрессора блока разделения газовых смесей при утилизации отходов / С. А. Вамболь, Ю. В. Шахов, В. В. Вамболь, И. И. Петухов // Технологический аудит и резервы производства. – 2016. – № 1/1 (27). – С. 50–53.
9. Вамболь, В. В. Выбор структуры и параметров газочапельного потока в блоке охлаждения газа, полученного при термической обработке отходов [Текст] / В. В. Вамболь, В. Е. Костюк, Е. И. Кирилад // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т». – Вып. 67. – Х., 2015. – С. 186–196.