

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ В ПЛАЗМЕННЫХ УСТРОЙСТВАХ

**А.Н. Никончук, А.Л. Моссе, И.В. Хведчин, В.В. Савчин,
А.В. Ложечник, Д.С. Скоморохов**

*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь
a.nikonchuk@yandex.ru, mosse@itmo.by, htt@tut.by, v.sauchyn@gmail.com*

Одной из наиболее серьезных экологических проблем, стоящих перед многими странами, является загрязнение окружающей среды отходами, которые в большинстве случаев являются токсичными и опасными.

В настоящее время на территории Республики Беларусь не решена проблема обращения с отходами лечебно-профилактических учреждений и фармакологических производств, а также непригодными лекарственными препаратами с истекшим сроком реализации. Установлено, что их опасность для окружающей среды значительно выше, чем у большинства химических отходов [1]. К сожалению, в Республике Беларусь данной проблеме не уделяется должного внимания из-за сравнительно небольших объемов образуемых медико-биологических отходов по сравнению с отходами других отраслей народного хозяйства.

Проблема переработки медико-биологических отходов усложняется тем фактором, что уже накопленные и хранящиеся в Республике Беларусь твердые медико-биологические отходы, как правило, не сортированы и в ряде случаев имеют весьма сложный состав, неподдающийся точной идентификации [2]. К тому же качественный состав отходов может изменяться в зависимости от специфики работы организаций, где они образуются, и условий их сбора. Так, например, медико-биологические отходы в большинстве случаев содержат токсичные вещества и вредные биологические формы (вирусы, микробы, штаммы, прионы). Типичный фазовый состав: 50–60 % по объему составляют жидкости, 20–40 % – твердые вещества, 10–20 % – газы. Содержание неорганических веществ составляет примерно 50 %, средняя теплотворная способность отходов примерно 4000 ккал/кг.

Процессы переработки медико-биологических отходов.

Одним из наиболее перспективных методов решения проблемы переработки токсичных медико-биологических отходов является применение плазменных методов [3–5], которые характеризуются полным разложением токсичных веществ при высокой температуре. Анализ показывает, что применение данного метода переработки медико-биологических отходов является одним из наиболее перспективных направлений, выходящих на ведущие позиции в мире при переработке опасных отходов [6].

Основным элементом плазменных устройств для переработки отходов являются электродуговые генераторы плазмы (плазмотроны), генерирующие термическую плазму различных газов со среднемагассовой температурой свыше 5000 К. При этой температуре полностью разлагаются любые сложные органические и неорганические соединения до атомов и ионов.

Главная отличительная особенность плазменной технологии заключается в значительной интенсификации процесса деструкции отходов, который протекает за весьма короткие промежутки времени за счет передачи энергии обрабатываемым материалам преимущественно излучением. В результате фактически исключается необходимость применения кислорода для разложения отходов.

Другой существенной особенностью данной технологии является допустимость более грубого диспергирования отходов. Это имеет значение при обработке суспензий и эмульсий с высокой пластической вязкостью, затрудняющей распыление.

При применении данной технологии переработки и уничтожения отходов отсутствуют какие-либо высокомолекулярные соединения в продуктах кинетической рекомбинации. Переработка отходов производится в режиме окислительного пиролиза при температуре не менее 1500 К, что исключает образование диоксинов и других вторичных токсичных продуктов. Объем отходящих газов при этом в 3–4 раза меньше, чем при сжигании в газо-пламенных или топливных печах, что значительно удешевляет систему газоочистки.

Плазменные устройства не сжигают, а преобразовывают жидкие и твердые отходы, разлагая все компоненты, превращая в горючий синтез-газ органическую часть и в не выщелачиваемый стеклованный шлак неорганическую часть отходов.

В общем случае в плазменном реакторе будет происходить процесс пиролиза органической массы, приводящий к образованию газообразных, жидких, смолистых и твердых составляющих, обладающих высокой теплотворной способностью, а также плавление неорганической части отходов. Относительное содержание парциальных составляющих процесса зависит от содержания воды и температуры пиролиза. Однако температура пиролиза настолько велика, что летучие, жидкие органические, смолистые вещества и целлюлоза под воздействием этой температуры полностью распадаются на составляющие их атомы, которые в свою очередь по законам химической кинетики при данной температуре образуют простые химические соединения.

Модель термодинамического расчета реагирующей системы. Равновесное состояние реагирующих систем, как и равновесие инертных систем, характеризуется минимумом энергии Гиббса при определенных значениях давления и температуры. Нахождение этого минимума ведет к определению равновесия.

Энергия Гиббса смеси представляется как функция температуры, давления и количества вещества компонентов смеси.

$$G = G(T, P, N_1, N_2, \dots, N_m)$$

Нахождение минимума сводится к требованию равенства нулю дифференциала

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_{P, N} dT + \left(\frac{\partial G}{\partial P} \right)_{T, N} dP + \sum_j^m \left(\frac{\partial G}{\partial N_j} \right)_{P, T, N_{i, i \neq j}} dN_j = 0 \quad (1)$$

где

$$\mu_j = \left(\frac{\partial G}{\partial N_j} \right)_{T, P, N_{j, i \neq j}} - \text{химический потенциал компонента } j.$$

Для смеси идеальных газов, энергия Гиббса j -го компонента имеет вид:

$$\begin{aligned} G_j &= U_j + PV_j - TS_j = H_j - TS_j = \\ &= H_{f,j}^0 + (H_j - H_j^0) - T \left[S_j^0 - R \ln \left(\frac{P_j}{P^0} \right) \right] = \\ &= H_{f,j}^0 + (H_j - H_j^0) - TS_j^0 - RT \ln \left(\frac{P_j}{P^0} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

Окончательное уравнение для нахождения равновесных концентраций имеет вид:

$$\begin{aligned}
 \nabla L(\vec{N}, \vec{\lambda}) &= \sum_j^m \left(\frac{\partial G}{\partial N_j} \right)_{P,T,N_{i \neq j}} dN_j + \sum_{i=1}^a \lambda_i \sum_{j=1}^m \frac{\partial \phi_i}{\partial N_j} dN_j = \\
 &= \sum_{j=1}^m G_j dN_j + \sum_{i=1}^a \lambda_i \left[\frac{\partial \phi_i}{\partial N_1} dN_1 + \frac{\partial \phi_i}{\partial N_2} dN_2 + \dots + \frac{\partial \phi_i}{\partial N_m} dN_m \right] = \\
 &= \sum_j^m G_j dN_j + \lambda_1 \left[\frac{\partial \phi_1}{\partial N_1} dN_1 + \frac{\partial \phi_1}{\partial N_2} dN_2 + \dots + \frac{\partial \phi_1}{\partial N_m} dN_m \right] + \\
 &\quad + \lambda_2 \left[\frac{\partial \phi_2}{\partial N_1} dN_1 + \frac{\partial \phi_2}{\partial N_2} dN_2 + \dots + \frac{\partial \phi_2}{\partial N_m} dN_m \right] + \dots + \\
 &\quad + \lambda_a \left[\frac{\partial \phi_a}{\partial N_1} dN_1 + \frac{\partial \phi_a}{\partial N_2} dN_2 + \dots + \frac{\partial \phi_a}{\partial N_m} dN_m \right] = \\
 &= \left[G_1 + \lambda_1 \frac{\partial \phi_1}{\partial N_1} + \lambda_2 \frac{\partial \phi_2}{\partial N_1} + \dots + \lambda_a \frac{\partial \phi_a}{\partial N_1} \right] dN_1 + \\
 &\quad + \left[G_2 + \lambda_1 \frac{\partial \phi_1}{\partial N_2} + \lambda_2 \frac{\partial \phi_2}{\partial N_2} + \dots + \lambda_a \frac{\partial \phi_a}{\partial N_2} \right] dN_2 + \dots + \\
 &\quad + \left[G_m + \lambda_1 \frac{\partial \phi_1}{\partial N_m} + \lambda_2 \frac{\partial \phi_2}{\partial N_m} + \dots + \lambda_a \frac{\partial \phi_a}{\partial N_m} \right] dN_m = 0
 \end{aligned} \tag{3}$$

В соответствии с этим была предложена модель реактора, в которой реактор разделен на три элемента: камера смешения, реактор и закалочный модуль (см. рис. 1). В первом элементе происходит перемешивание плазменного потока с перерабатываемым материалом. Далее во втором модуле моделируется подача дополнительного кислорода (воздуха) для протекания реакции окисления. В закалочном модуле происходит охлаждение продуктов реакции.

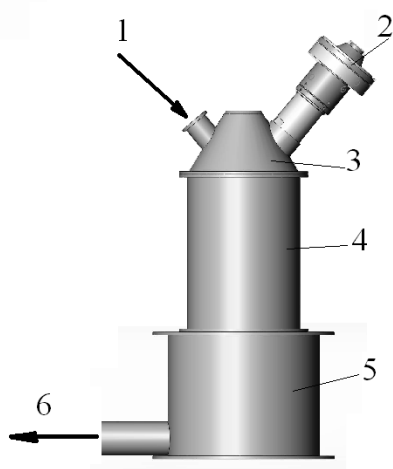


Рис. 1. Схема реактора. 1 – подача материала; 2 – плазмотрон; 3 – камера смешения; 4 – реактор; 5 – закалочный модуль; 6 – выход в систему газоочистки.

В качестве модельного вещества была выбрана смесь, состоящая из этилового и изопропилового спиртов и ацетона, взятых в равных долях. Данная смесь представляет

собой отходы производства, которые образуются при очистке емкостей на фармакологических производствах.

Проведено моделирование процесса переработки данной смеси в плазменном реакторе с использованием воздуха в качестве плазмообразующего газа. Модельный состав воздуха: кислород – 20%, азот – 80%.

На рисунках 2–3 представлены равновесные составы продуктов реакции при различных температурах и составах реагирующей смеси.

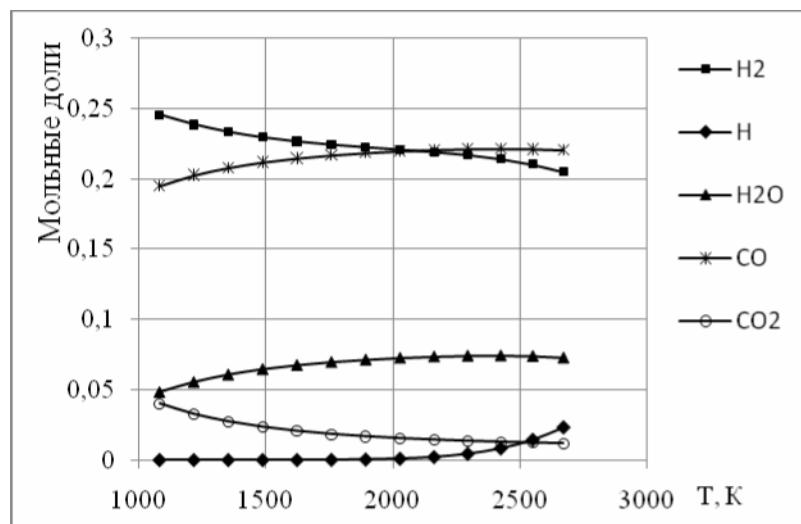


Рис.2.Равновесный состав продуктов реакции.
($C_2H_5OH:C_3H_7OH:C_3H_6O:O_2:N_2 = 1:1:1:4:16$ мольные доли)

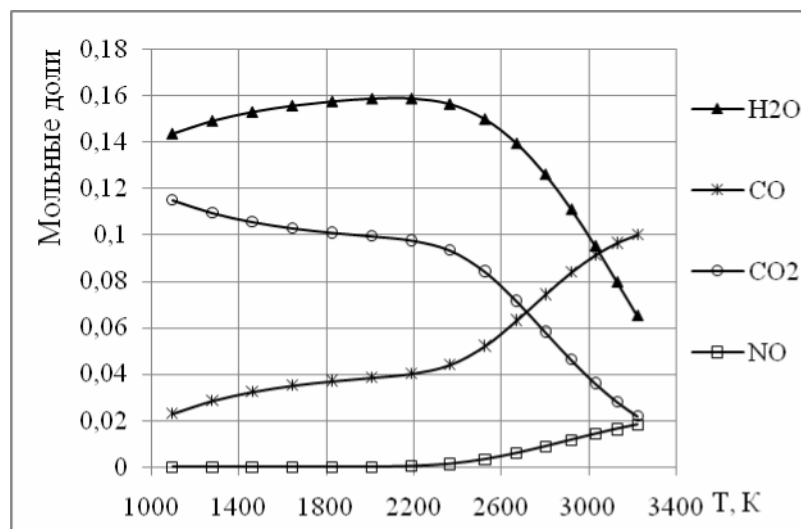


Рис. 3. Равновесный состав продуктов реакции.
($C_2H_5OH:C_3H_7OH:C_3H_6O:O_2:N_2 = 1:1:1:10:40$ мольные доли)

Анализ полученных при моделировании данных позволяет сделать следующие выводы. При недостатке кислорода в результате переработки образуется большое количество H_2 и CO – синтез-газ, который в дальнейшем может использоваться для производства энергии. При значительном увеличении температуры (более 2200 К) наблюдается увеличение содержания окислов азота, что увеличивает нагрузку на систему очистки. Оптимальные температуры для переработки отходов такого вида – 1500-2000 К.

Заключение

В настоящее время существует большое количество разнообразных методов и технологий по переработке и утилизации медико-биологических отходов. Основными

общепризнанными методами являются термические методы. Плазмо-термическая технология переработки отходов является универсальной, т.к. она может применяться для утилизации любых отходов, не зависимо от их качественного состава.

Обозначения

H_{fj}^o – энтальпия образования j -го компонента, Дж/кг; H_j – энтальпия j -го компонента при данной температуре T , Дж/кг; H_j^o – энтальпия j -го компонента при 298К, Дж/кг; S_j^o – энтропия j -го компонента при 298К и давлении 1 атм., Дж/кг К; R – универсальная газовая постоянная, 8,31 Дж/моль К; P_j – парциальное давление j -го компонента, Па; G – энергия Гиббса, Дж/кг; P – давление, Па; T – температура, К; N – количество вещества, моль.

Литература:

1. Международное общественное объединение «Экопроект Партнерство» [Электронный ресурс] – 2011. Режим доступа: <http://www.ecoproject.by/projects.php?a=show&id=273> – Дата доступа: 17.03.2011.
2. Чередниченко В.С., Казанов А.М., Аньшаков А.С. и др. Современные методы переработки твердых бытовых отходов. Новосибирск: ИТ СО РАН, 1995.
3. Bratsev A.N., Popov S.V., Shtengel S.V. Rutberg A.P Some aspects of development and creation of plasma technology for solid waste gasification //High Temp. Mater. Process. 2006. Vol. 10. P.549–556
4. Carabin P., Gagnon J-R. Thermal destruction of waste using plasma. //Proc. Biomass and Waste to Energy Symp.Italy. Venice, 2006.
5. .Моссэ А. Л, Савчин В. В. Плазмотермическая переработка токсичных отходов // Твердые бытовые отходы. 2006. № 12. С. 22–26.
6. Bhasin K.C.Plasma arc gasification for waste management //Electronics For You. February, 2009. P. 123 – 130. Режим доступа: <http://www.electronicsforu.com/EFYLinux/efyhome/cover/February2009/Plasma-Arc-2.pdf> – Дата доступа: 16.02.2011, 15:41.