

науч.-практ. конф. 2015. - С. 67-70.

4. Вытовтов А.В., Калач А.В., Разиньков С.Ю. Современные беспилотные летательные аппараты / А.В. Вытовтов, А.В. Калач, С.Ю. Разиньков // Вестник Белгородского гос. технолог. ун-та им. В.Г. Шухова. 2015. - № 4. - С. 70-74.

5. Вытовтов А.В., Шумилин В.В., Калач А.В. Применение беспилотных летательных аппаратов при проведении культурно массовых мероприятий / А.В. Вытовтов, В.В. Шумилин, А.В. Калач // Computational nanotechnology. - 2015. - № 4. - С. 69-73.

6. Вытовтов А.В., Разиньков С.Ю. Перспективы использования БПЛА для обеспечения пожарной безопасности линейных объектов нефтегазовой отрасли / А.В. Вытовтов, С.Ю. Разиньков // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2015. - Т.1. - № 1 (6). - С. 19-21.

7. Лебедев Ю.М., Разиньков С.Ю., Вытовтов А.В., Шумилин В.В. Зарубежный опыт использования микрокамер в инфракрасном диапазоне на БПЛА для обнаружения огня / Ю.М. Лебедев, С.Ю. Разиньков, А.В. Вытовтов, В.В. Шумилин // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2015. - Т.1. - С. 28-33.

8. Калач А.В., Чудаков А.А., Калач Е.В., Арифиллин Е.З.: Математическая модель движения поверхностных вод местного стока// Технологии гражданской безопасности. 2013. - Т. 10. - № 3. - С. 90-94.

9. Однолько А.А. Определение величины пожарного риска в производственном помещении с выделением горючих жидкостей и газов / А.А. Однолько, И.В. Ситников // Научный вестник ВГАСУ: Строительство и архитектура. 2011. - № 3. - С. 125-133.

10. Шумилин В.В. Особенности математического моделирования распространения опасных факторов пожара / В.В. Шумилин // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. - 2014. - С. 332-334.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ**

**С.А. Вамболь, заведующий кафедрой, д.т.н., профессор,  
Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков**

**В.В. Вамболь, доцент, к.т.н., доцент,  
Национальный аэрокосмический университет  
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков**

Проблема отходов актуальна не только для Украины, но и для всего мира. В настоящее время ситуация с отходами является угрожающей для экологической безопасности, а вопросы уменьшения их количества и защиты объектов окружающей природной среды – наиболее острыми. Процесс накопления отходов

прогрессирует. Свалки отходов, как официальные, так и несанкционированные, обеспечивают поступление вредных химических, химико-биологических и биологических элементов в окружающую среду, существенно снижая уровень экологической безопасности.

Наиболее распространенными способами утилизации отходов являются термические. Широкое применение пластиков 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 супертоксины, 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  $1200^{\circ}\text{C}$  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  $300\text{...}450^{\circ}\text{C}$ . 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  $1200^{\circ}\text{C}$ . В результате образуется высококалорийный горючий газ и нейтральный твердый остаток в виде остеклованого 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.

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 (рис. 1).

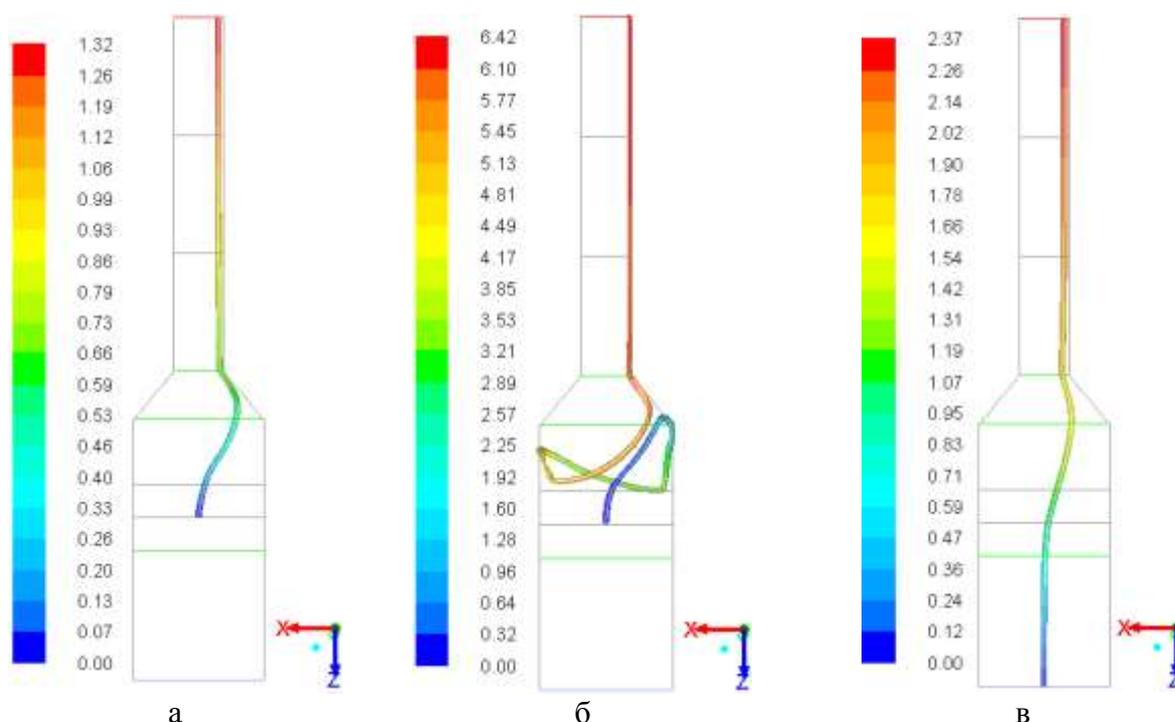


Рис. 1. Траектория движения элементарного объема газа (контрольная струйка тока): а, б, в – варианты подачи диспергированной жидкости

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 (рис. 2).

Наиболее рациональным оказался режим, который обеспечивает снижение температуры газового потока с 1200 до 305,8 °С 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.

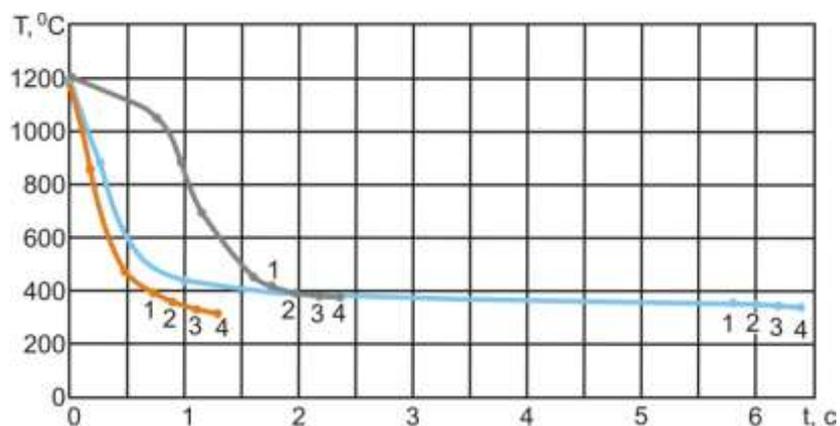


Рис. 2. Зависимость температуры газа (°C) от времени его охлаждения (с):

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

В работах [4-6] 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

$$\begin{aligned}
 G_{IN} &= G_{L\_EX} + G_{V\_EX}, \\
 G_{IN} \cdot i_m(P_{PK\_IN}, T_{PK\_IN}) &= G_{L\_EX} \cdot i_m(P_{L\_EX}, T_{L\_EX}) + \\
 &+ Q_{PB} + G_{V\_EX} \cdot i_m(P_{V\_EX}, T_{V\_EX}) - Q_{KOND},
 \end{aligned}
 \quad (2)$$

где  $G_{L\_EX}$ ,  $G_{V\_EX}$  – расходы однофазных жидкого и газообразного продуктов на выходе из ректификационной колонны;  $i_m$  – удельная энтальпия многокомпонентной смеси, определяемая с помощью комплекта подпрограмм расчета коэффициентов теплофизических свойств рабочих тел для заданного компонентного состава смеси;  $T_{L\_EX}$ ,  $P_{L\_EX}$  – соответственно температура и давление жидкого продукта на выходе из ребойлера;  $T_{V\_EX}$ ,  $P_{V\_EX}$  – соответственно температура и давление газообразного продукта на выходе из конденсатора;  $Q_{PB}$  – теплота, подведенная к ребойлеру,  $Q_{KOND}$  – теплота, отведенная из конденсатора.

Компонентный состав входящего и исходящих продуктов связан следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} G_{IN} \cdot g_{IN\_1} = G_{L\_EX} \cdot g_{L\_EX\_1} + G_{V\_EX} \cdot g_{V\_EX\_1}, \\ G_{IN} \cdot g_{IN\_2} = G_{L\_EX} \cdot g_{L\_EX\_2} + G_{V\_EX} \cdot g_{V\_EX\_2}, \\ G_{IN} \cdot g_{IN\_3} = G_{L\_EX} \cdot g_{L\_EX\_3} + G_{V\_EX} \cdot g_{V\_EX\_3}, \\ \dots \\ G_{IN} \cdot g_{IN\_n} = G_{L\_EX} \cdot g_{L\_EX\_n} + G_{V\_EX} \cdot g_{V\_EX\_n}, \end{cases} \quad (3)$$

где  $g_{IN\_i}$ ,  $g_{L\_EX\_i}$ ,  $g_{V\_EX\_i}$  – массовые доли  $i$ -го компонента на входе в ректификационную колонну, на выходе из ребойлера и конденсатора соответственно.

Для решения полученной системы уравнений использован метод последовательных приближений и получен компонентный состав выделенных потоков. Один из них представляет собой компримированный продукт с содержанием метана 88...97 %, достаточным для использования его в качестве моторного топлива, а два других – топливный газ, пригодный для поддержания процесса газификации отходов.

Таким образом, разработанная математическая модель процесса охлаждения генераторного газа [7], процесса разделения многокомпонентных углеводородных смесей в ректификационной колонне и математические модели других функциональных элементов, участвующих в процессе разделения [4-6], позволяют путем численного моделирования осуществлять проектирование энерготехнологической установки для экологически безопасной утилизации с последующей оптимизацией ее параметров в целях повышения эффективности.

### Список использованной литературы

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. Шахов Ю.В. Математическая модель энерготехнологической установки для разделения многокомпонентных газовых смесей [Текст]: зб. наук. пр. / Ю.В. Шахов, И.И. Петухов, В.В. Вамболь // Вісник НТУ «ХПІ». Сер. Математичне моделювання в техніці та технологіях. – 2015. – № 41 (1150). – С. 134-139.
6. 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.

7. Вамболь В.В. Выбор структуры и параметров газокапельного потока в блоке охлаждения газа, полученного при термической обработке отходов [Текст] / В.В. Вамболь, В.Е. Костюк, Е.И. Кирилаш // 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.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВОБОДНОПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНОГО ОБЪЕКТА**

**А.Б. Менжинский, адъюнкт,  
А.Н. Малашин, доцент, к.т.н.,  
Военная академия Республики Беларусь, г. Минск**

В настоящее время в системе электроснабжения (СЭС) автономного объекта (АО) применяются энергоустановки на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) с кривошипно-шатунным механизмом (КШМ) и синхронных генераторов (СГ) на основе электрической машины вращения (ЭМВ) [1, 2].

Современные ДВС с КШМ представляют собой сложные системы механизмов, обеспечивающих преобразование возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение выходного вала, а также процессы смесеобразования, воспламенения топливовоздушной смеси, охлаждение цилиндров и т.д.

КШМ преобразует возвратно-поступательное движение поршня во вращение коленчатого вала, является одним из наиболее сложных и дорогих элементов в ДВС (затраты на изготовление КШМ составляют 25-40 % от себестоимости двигателя).

Обеспечение функционирования КШМ связано с необходимостью использования значительного числа пар трения, что приводит к возрастанию механических потерь в двигателе, ухудшению экономических и массогабаритных показателей ДВС. Кроме того КШМ вызывает дополнительную нагрузку поршня на цилиндр, что существенно влияет на ресурс двигателя уменьшая его надежность. Невозможность автоматического изменения степени сжатия без усложнения кинематической схемы, приводит к недоиспользованию энергии топливовоздушной смеси традиционного ДВС.

Поэтому в настоящее время интерес представляется к исследованию линейного электрического генератора (ЛЭГ) в качестве электромеханического преобразователя энергии АИЭ. Который позволяет использовать в качестве источника механической энергии в АИЭ свободнопоршневой двигатель (СПД), в конструкции которого отсутствует КШМ, поэтому эффективный КПД СПД может достигать 50-65 %, средняя удельная масса не превышает 1,1 кг/кВт, а средний