

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОДАЧИ И СЖИГАНИЯ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА В УТИЛИЗАЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Егоров С.А.

Институт «Академия строительства и архитектуры», ФГАОУ ВО КФУ им. В.И. Вернадского, 295943, г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: ser2093@rambler.ru

**Аннотация.** В работе рассмотрен способ получения жидкого топлива при переработке полимерных отходов в установках периодической загрузки при организации сжигания газового топлива в теплогенерирующих установках малой мощности путем совершенствования процесса пиролиза и охлаждения до конденсации паров, как одно из направлений решения проблемы ресурсосберегающих технологий.

**Ключевые слова:** пиролиз, полимерные отходы, тепловые процессы, конденсация.

### ВВЕДЕНИЕ

Мировое энергопотребление, в ближайшие полвека, будет уменьшаться примерно на 40%. Это связано с увеличением доли энергосберегающих технологий и повышения культуры энергетического и ресурсного потребления. Меняется и структура энергопотребления, постепенно будут отказываться от нефти, доля потребления газа также значительно уменьшится.

Поскольку биомасса является основным источником энергии на планете, она образуется из диоксида углерода и воды, при фотосинтезе, с выделением кислорода. В результате содержание углекислого газа в атмосфере не меняется. В связи с этим, биомасса имеет ряд достоинств, как топливо. Использование биомассы для получения энергии более безопасно с точки зрения экологии, чем, к примеру, угля в связи с низким содержанием серы.

### АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ

Автором была предложена конструкция установки и метод для переработки полимерных отходов с комбинированным получением жидкого топлива, высокопотенциальной тепловой энергии и (или) электрической энергии.

Предложенная конструкция, схема которой приведена на рисунке 1, относится к области использования отходов в качестве энергетических и материальных ресурсов, в частности – для пиролиза, и может быть использована для получения топлива, тепловой и электрической энергии при утилизации полимерных отходов путем пиролиза и последующего охлаждения и конденсации генераторного газа до жидкого состояния полученного топлива [1-3].

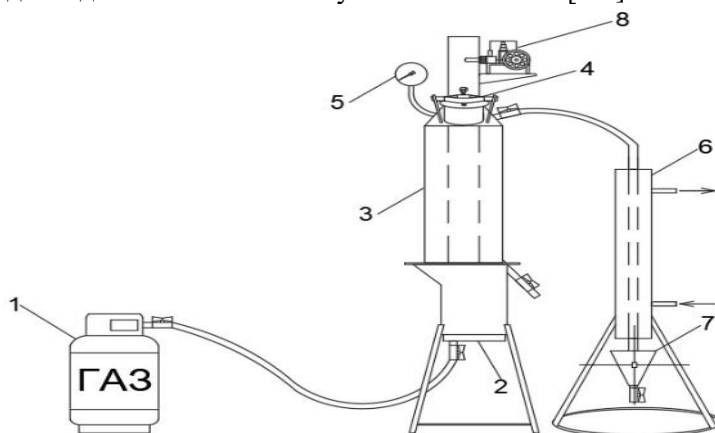


Рис. 1. Конструкция пиролизной установки: 1 - Газовый баллон; 2 – Газовая горелка; 3 – Емкость для вторичного сырья; 4 – Отверстие для загрузки пластика; 5 – Манометр; 6 – Теплообменник; 7 – Накопитель для топливного конденсата.

Аэродинамические исследования процесса газогенерации выполнены в лаборатории по теплоэнергетике академии с использованием образцов известных мировых фирм, по договорам о сотрудничестве с академией строительства и архитектуры. Специально был создан экспериментальный стенд для тепловых испытаний, в основу которого положено установка предложенного газогенератора (рис. 1). Данная установка позволяет измерять температуру рабочего процесса, количество топлива полученное на выходе, а также время для переработки пластика (измерения проводились с помощью секундомера) и давление с помощью манометра. Температуру в камере сгорания пластика в установке, а также температуру на охладителе фиксировались с помощью пирометра и термопары. Количество потраченного газа фиксировалось с помощью весов предварительно взвесив баллон до и после эксперимента. Вес пластика подаваемый в камеру сгорания фиксировался с помощью электронных весов. В верхней части установки был установлен теплообменник, с помощью которого происходил нагрев воды. Температура воды фиксировалась на входе и на выходе из теплообменника, с помощью датчиков температуры [4-8].

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью работы является совершенствование газодинамических процессов подачи и сжигания газового топлива в установках малой мощности с использованием возобновляемых источников энергии, как одно из направлений решения проблемы энерго-и ресурсосберегающих технологий, в элементах которой получается высоко потенциальной теплоноситель, что позволяет существенно повысить эффективность использования топливно – энергетических ресурсов.

Задача решается за счет того, что в процессе утилизации полимерных отходов происходит их нагрев и в результате пиролиза получается газ, который из камеры сгорания попадает в теплообменник. В теплообменнике полученный газ охлаждается до полной конденсации. Полученный конденсат является топливом по химическому составу аналогичного низкосортным сортам мазута. При этом, тепло, полученное при конденсации, полученное в результате пиролиза газа и тепло от дымовых газов можно использовать как дополнительный источник для системы отопления.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для достижения поставленной цели была проведена серия экспериментальных исследований. Исследования выполнялись при следующих условиях:

- температура окружающей среды  $t_{cp}=22^{\circ}\text{C}$ ;
- давление окружающей среды  $P_{атм}=101325 \text{ Па}$ ;
- начальная температура пластика  $t_{п1}=22^{\circ}\text{C}$ ;

В качестве варьируемых параметров приняты:

- количество загрузки пластика ( $X_1$ ) кг/с;
- количество газа используемое для переработки пластика, ( $X_2$ ) кг/час.

Планирование и осуществление эксперимента проводилось на основании анализа результатов, полученных в работах [8, 9]. Для проведения эксперимента был использован ортогональный план второго порядка с дополнительными тремя опытами в центре плана, который приведён в таблице 1.

Таблица 1.  
Уровни варьирования принятых параметров

Уровни факторов	Факторы	
	$X_1$ , кг	$X_2$ , кг
0 Основной (нулевой)	1,44	1,32
-1 Нижний	1,2	0,64
+1 Верхний	1,68	2
Интервал варьирования	0,24	0,68

Согласно [1] при числе факторов  $k=2$  и  $n_0 = 3$  величина звездного плеча составляет  $\alpha = 1,148 \approx 1,15$ , поэтому матрица планирования выглядит (таблица 2) следующим образом:

Таблица 2.  
Ортогональный план второго порядка для двух факторов и с тремя опытами в центре плана

	№ опыта	Факторы (кодированные значения)		Факторы (натуральные значения)		Отклик $Y_j, ^\circ\text{C}$
		$X_1$	$X_2$	$X_1, \text{кг}$	$X_2, \text{кг/час}$	
Ядро плана	1	-1	-1	1,2	0,64	33,5
	2	1	-1	1,68	0,64	49
	3	-1	1	1,2	2	59
	4	1	1	1,68	2	62
Звездные точки	5	$\alpha = +1,15$	0	0,22	1,32	75
	6	$\alpha = -1,15$	0	0,18	1,32	82
	7	0	$\alpha = +1,15$	1,44	0,3	77
	8	0	$\alpha = -1,15$	1,44	0,1	70
Центр плана	9	0	0	1,44	1,32	62
	10	0	0	1,44	1,32	51

На основании обработки данных эксперимента получена регрессионная зависимость выработки жидкого топлива от количества загрузки исходного пластика при изменении объема подаваемого газа для процесса пиролиза:

$$Y = 0,3685 \cdot X_1 + 1,6416 \cdot X_2 - 0,5681 \cdot X_1^2 X_2^2 + 1,0632 \cdot X_1^2 + 0,419 \cdot X_2^2 - 0,68486$$

Анализ полученного уравнения регрессии выполнен в виде графических зависимостей объема получаемого жидкого топлива в процессе пиролиза при изменении массы исходного пластика и объема подаваемого газа, рисунок 2 и 3.

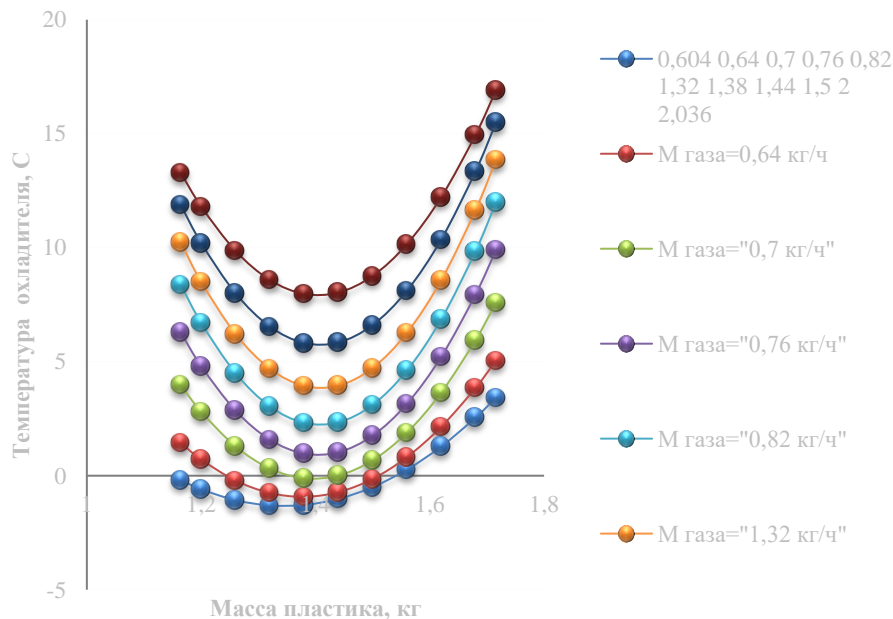


Рис. 2. Графики зависимости количества получаемого жидкого топлива от массы перерабатываемого пластика при различных расходах газа на горение и температуре охлаждения

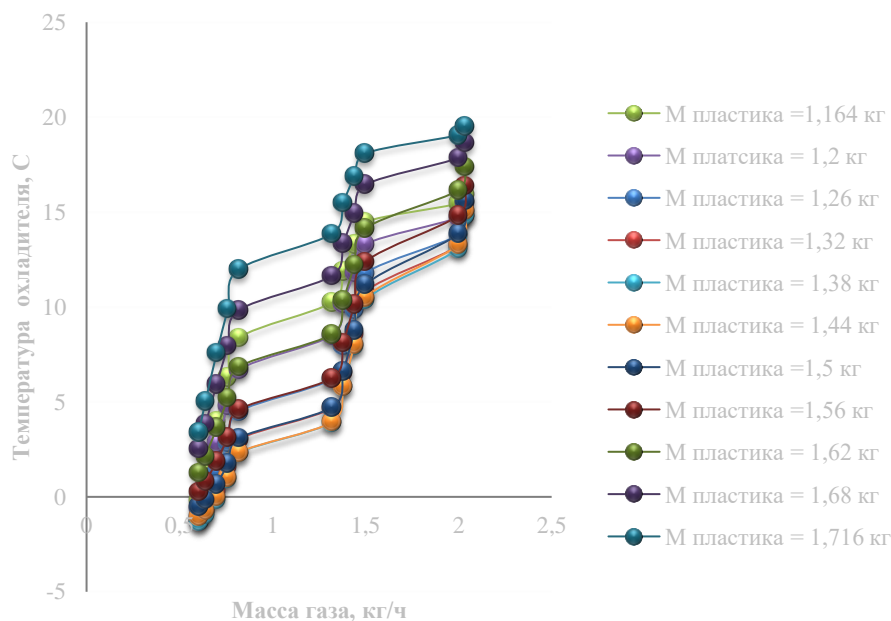


Рис. 3. Графики зависимости количества получаемого жидкого топлива от массы сжигаемого газа при варьировании массой перерабатываемого пластика и температуре охлаждения

## ВЫВОДЫ

1. Разработана конструкция комбинированной автономной теплогенерирующей установки, которая относится к области использования вторичных энергетических и материальных ресурсов, в частности – установок для пиролиза и может быть использована для получения топлива, тепловой и электрической энергии при утилизации пластиковых бытовых отходов путем пиролиза пластмассы и последующего охлаждения полученного таким образом генераторного газа.

2. Впервые экспериментально выявлена зависимость изменения выработки жидкого топлива при влиянии температуры и давления в аппарате.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аверкова, О.А. Математическое моделирование процессов в системах аспирации: учеб. Пособие [Текст] / О.А. Аверкова, К.И. Логачев. – Белгород: БГТУ, 2007. – 271 с.
2. Мелькумов, В.Н. Математическое моделирование воздушных потоков в помещениях больших объемов [Текст] / В.Н. Мелькумов, А.В. Лобода, С.В. Чуйкин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура, 2014. – № 2. – С. 11-18.
3. Wagh, P. Optimization of a Shell and Tube Condenser using Numerical Method / P. Wagh, M.U. Pople // Int. Journal of Engineering Research and Applications, 2015. – Vol. 7. – P. 9-15.
4. Зайцев, О.Н. Интенсификация процессов взаимодействия вращательных газовых потоков в эргосберегающих технологиях теплоэнергетики: диссертация [Текст]: дис... док-ра техн. Наук: 05.14.06 / Зайцев Олег Николаевич. – Одесса, 2004. – 330 с.
5. Зайцев, О.Н. Конусно-спиральный рекуператор теплоты отходящих дымовых газов бытовых котлов [Текст] / О.Н. Зайцев, И.П. Ангелюк, Н.А. Степанцова // Строительство и техногенная безопасность, 2018. – №13(65). – С. 159-161.
6. Гримитлин, А.М. Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции и кондиционирования [Текст] / А.М. Гримитлин, Т.А. Дацюк, Д.М. Денисихина – М.: АВОК СевероЗапад, 2013. – 192 с.

7. Zaycev, O.N. Experimental study of the aerodynamic resistance of a conical-spiral heat exchanger of the outgoing flue gases / O.N. Zaycev, I.P. Angeluck, S.S. Toporen // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2019. – №698 – 055033.

8. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: Учеб. Пособие [Текст] / Н.А. Спириин, В.В. Лавров, Л.А. Зайнуллин, А.Р. Бондин, А.А. Бурыкин; Под общ. Ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: ООО «УИИЦ», 2015. – 290 с.

9. Зимонт, В.Л. Исследование турбулентного течения на начальном участке цилиндрического канала с острыми кромками [Текст] / В.Л. Зимонт, В.Е. Козлов, А.А. Прасковский // Ученые записки ЦАГИ, 1981. – №1 Том 12. – С. 145-152.

## IMPROVEMENT OF GASDYNAMIC PROCESSES OF GAS FUEL SUPPLY AND COMBUSTION IN LOW CAPACITY RECOVERY PLANTS

Egorov S.A.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea

**Annotation.** The paper considers a method for obtaining liquid fuel during the processing of polymer waste in periodic loading plants when organizing the combustion of gas fuel in low-power heat generating plants by improving the pyrolysis process and cooling to vapor condensation, as one of the ways to solve the problem of resource-saving technologies.

**Keywords:** pyrolysis, polymer waste, thermal processes, condensation.