УДК 66.088

Влияние воздушной плазмы в процессе газификации твердых отходов на содержание конденсирующихся органических веществ в синтез-газе

В.А. Кузнецов, Ю.А. Кучина., А.С. Лернер, О.Ю. Неменок, В.Е. Попов, Д.И. Субботин, А.А. Уфимцев, С.В. Штенгель

Статья посвящена исследованию разложения смол в процессе воздушно-плазменной газификации отходов на примере древесных отходов. Проведены испытания на лабораторной установке производительностью по сырью 150 кг/ч. Смолы определялись при пропускании анализируемого газа через охлажденный до –15 °С изопропиловый спирт с последующим его анализом методом хромато-масс-спектрометрии. Полученные результаты сравнены с литературными данными.

PACS: 88.20.fs
Ключевые слова: воздушная плазма, синтез-газ, смолы, газификация.

Введение

Увеличение количества бытовых отходов заставляет задуматься о безопасной и эффективной их переработке. Из существующих термических методов (пиролиз, сжигание и газификация) особое место занимает газификация. При газификации количество вредных примесей значительно меньше [1], а полученный в результате данного процесса синтез-газ может использоваться в энергетических целях и в качестве сырья в химической технологии.

Качество синтез-газа зависит от типа подаваемого сырья, температуры, времени пребывания в реакторе и др. Для снижения количества высокомолекулярных конденсирующихся веществ применяют обращенную схему газификации [2]. В этом случае сырье, поступающее в реактор, подвергается термическому разложению в зоне пиролиза и образующиеся летучие вещества проходят через высокотемпературную зону горения и восстановительную зону, что обеспечивает высокие времена пребывания (1–2 секунды) смолистых веществ.

Летучие вещества, выделяющиеся из топлива при его нагревании, подвергаются термоокислительному превращению с образованием широкого круга органических веществ. В зависимости от температуры и времени пребывания летучих веществ в реакторе основными компонентами смолы являются [3]:

1. Продукты первичного превращения целлюлозы и гемицеллюлозы (левоглюкозан, гидроксиацетальдегид, фурфуролы и др.), а так же лигнина — метоксифенолы.
2. Фенольные соединения — продукты превращения соединений первой группы
3. Алкилпроизводные ароматических веществ: аценафтен, метилнафталин, толуол и инден
4. Ароматические углеводороды (бензол, нафталин, антрацен с фенантреном и пирен)

Для повышения температуры в реакторе-газификаторе можно применять плазму веществ, участвующих в процессе газификации (воздух, пар). При этом энергетически оптимально применять именно воздушную плазму [4]. Используя плазму в качестве окислителя, можно значительно повысить запасенную в синтез-газе химическую энергию, а также повысить температуру, снизив содержание побочных продуктов, таких как смолы (конденсирующиеся при нормальных условиях органические вещества).

При плазменной газификации температура синтез-газа, выходящего из реактора может составлять 1250 °С [5] и более, что вызывает прак-

Кузнецов Вадим Алексеевич, старший научный сотрудник.
Кучина Юлия Александровна, инженер.
Лернер Анна Сергеевна, аспирант.
Неменок Оксана Юрьевна, аспирант.
Попов Виктор Евгеньевич, зав. лабораторией.
Субботин Дмитрий Игоревич, аспирант.
Уфимцев Александр Александрович, старший научный сотрудник.
Штенгель Сергей Вячеславович, научный сотрудник.
Институт электрофизики и электроэнергетики РАН.
Россия, 191186, Санкт-Петербург, Дворцовая наб. 18.
Тел.: (812) 571–54–10. E-mail: subbotin1987@mail.ru

Статья поступила в редакцию 10 июня 2013 г.

© Кузнецов В.А., Кучина Ю.А., Лернер А.С., Неменок О.Ю.,. Попов В.Е, Субботин Д.И., Уфимцев А.А., Штенгель С.В. 2013

тически полное разложение высокомолекулярных органических веществ [6]. Основными компонентами смолы в этом случае являются бензол, толуол и нафталин, общее содержание которых для топлив с высоким выходом летучих веществ не превышает 10 мг/м^3 [7].

Однако компоненты смол по-разному влияют на устройства, работающие с получаемым синтез-газом. Особенно важна точка росы синтез-газа, зависящая от его состава.

Традиционные методы газификации в зависимости от принимаемой схемы процесса дают от 0,5 до 100 г смол на 1 м^3 синтез-газа.

Целью данной работы являлось исследование процесса разложения смол в процессе воздушно-плазменной газификации отходов на примере древесных отходов для подтверждения эффективности данного вида газофикации.

Экспериментальная часть

Исследования газификации проводились на лабораторной установке [8] производительностью 150 кг/ч. Основные параметры процесса указаны в табл. 1, а схема реактора-газификатора на рисунке. Измерение основного состава с точностью 0,5 % об. осуществлялось масс-спектрометром Cirrus 300 с детектором Фарадея. Для калибровки масс-спектрометра применялись поверочные газовые смеси 1-го разряда.

Основным отличием плазмохимического реактора является использование вместо дутьевого воздуха (или совместно с ним) воздушной плазмы, генерируемой в плазмотроне. В качестве генераторов плазмы были использованы воздушные плазмотроны переменного тока [9] общей мощностью 70 кВт, а сырьем служила древесная щепа.

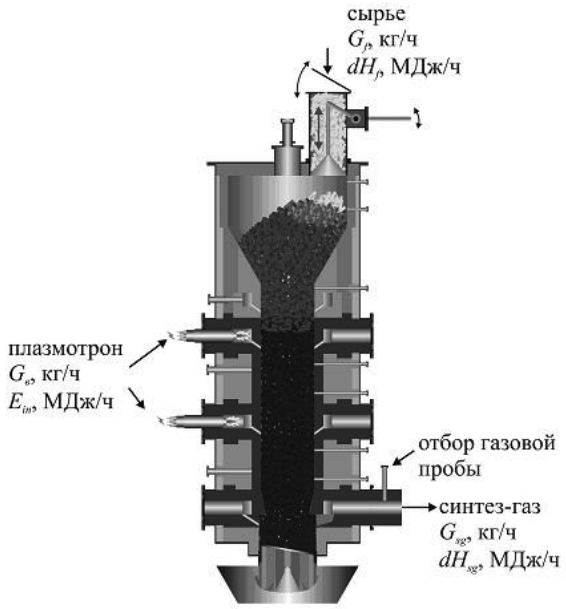

Рис. Схема плазмохимического реактора

Подача плазмы осуществлялась через кольцевые распределительные устройства, обеспечивающие равномерное распределение плазмы по всему сечению в области ввода.

Пробоотбор и пробоподготовка осуществлялись по методике, представленной в [10], а именно, синтез-газ пропускался через поглотительные приборы с охлажденным до –15 °С изопропиловым спиртом. При этом основное количество воды, содержащееся в синтез-газе, конденсировалось в первом поглотительном сосуде, а смолы в последующих пяти. Поглотительный раствор анализировался хромато-масс-спектрометрическим методом при следующих условиях: капиллярная колонка длиной 100 метров с 5%-дифенил /95%-диметилсилоксаном, температура испарителя 275 °С, скорость нагрева колонки – 8 °С/мин до 300 °С. Исследование проводилось на всем диапазоне времен выхода пиков. При этом концентрации компонентов смол были настолько малы, что на фоне основных пиков воды и изопропилового спирта были незначительными. Для исключения влияния изопропилового спирта дополнительно проведен анализ методом внутреннего стандарта с началом детектирования после выхода изопропилового спирта.

Синтез-газ после поглощения смол анализировался квадрупольным масс-спектрометром с целью определения основных компонентов: водорода, монооксида углерода, диоксида углерода, аргона и метана.

Результаты

Основной состав синтез-газа во времени представлен в табл. 1, а сравнительное содержание основных компонентов смолы в получаемом нами синтез-газе и в синтез-газе для не плазменных методов (по литературным данным) в табл. 2. Номера в колонках табл. 2: 1 — использованный метод воздушно-плазменной газификации; 2 — паровая газификация древесных пеллет, прямой процесс [11]; 3 — паровая газификация древесных пеллет, обращенный процесс [11]; 4 –обращенная газификация тростника воздухом [12]; 5 — газификация паром в псевдоожиженном слое [13].

Видно, что содержание водорода и монооксида углерода значительно превышает значения для традиционной газификации, что повышает теплоту сгорания синтез-газа. При этом практически отсутствуют смолистые компоненты, осложняющие процесс переработки синтез-газа.

Заключение

Исследованный процесс плазменной газификации с использованием воздушной плазмы в качестве окислителя не проводился в стационарных

Таблица 1

Основные параметры воздушно-плазменной газификации

Параметр	*Значение*
Расход сырья, кг/ч	100
Температура синтез-газа на выходе из реактора, °С	1100
Теплота сгорания сырья, МДж/кг	13,62
Влажность синтез-газа,% об.	6,5
Основной состав сухого синтез-газа	
H_2,% об.	25,06
N_2,% об.	39,09
CO,% об.	29,53
CO_2,% об.	5,86
Ar,% об.	0,46
Теплота сгорания сухого синтез-газа, МДж/Нм^3	6,15

Таблица 2

Содержание основных компонентов смол в синтез-газе плазменной гпзификации и не плазменных методов газификации

Компонент смолы	*Концентрация смол в синтез-газе, мг/м^3*				
	1	*2*	*3*	*4*	*5*
Бензол	0,1	4879,5	27,3	-	-
Толуол	0,05	414,5	6,3	-	0
Сумма ксилолов	0	94,1	2,8	49,8	0,11
Стирол	0	152,9	0	86,4	-
Фенол	0	37,5	9,6	78,9	0,42
Нафталин	0	852,7	4,3	-	0,97
Метилнафталины	0	59,6	2,0	-	0,35
Фенантрен	0	148,7	0,8	19,9	0,12
Бифенил	0	28,2	0,6	-	0,07
Инден + Индан	0	267,3	0,3	-	0,31
Аценафтилен	0	323,1	0,3	10,8	0,21
Аценафтен	0	4,6	0,2	-	0,13
Антрацен	0	43,8	0,3	-	0,06
Всего смол	0,2	3216,1	45,1	394,7	3,2

условиях (от начала эксперимента прошло 8 часов), однако уже по истечению времени разогрева получаемый синтез-газ содержал смолы в концентрациях недоступных для измерения методом хромато-масс-спектрометрии с учетом концентрирования пробы. Это свидетельствует практически полном разложении смол под действием воздушной плазмы теплосодержанием 3,5 МДж/кг и удельным подводом электрической энергии 4,74 МДж/кг исходного топлива.

Полученные результаты позволяют говорить о возможной экономии при очистке газа от побочных веществ: потребуется очистка от кислых газов (сероводорода, диоксида углерода и т.д.) и золы, что приведет к сокращению капитальных и эксплуатационных затрат при производстве из твердых отходов электрической энергии.

Литература

1. *Bui T., Loof R., Bhattacharya S.C.* // Energy. 1994. V. 19. Issue 4. P. 397
2. *Кузнецов В.А.* Исследование воздушно-плазменной газификации биомассы по обращенной схеме: дис. … канд. техн. наук: 01.04.13; [Место защиты: Институт Электрофизики и электроэнергетики РАН].— СПб., 2011.
3. *Milne T.A., Evans R.J.* Biomass Gasifier «Tars»: Their Nature, Formation, and Conversion.— Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 1998.
4. *Братцев А.Н., Кузнецов В.А., Лернер А.С., и др..* // Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2012. № 4. С. 29
5. *Братцев А.Н., Кузнецов В.А., Попов В.Е., Уфимцев А.А.*// Теплофизика высоких температур. 2011. Т. 49. № 2. С.251
6. *Rabou L.P.L.M.* // Fuel. 2005. V. 84. P. 577
7. *Братцев А.Н., Кузнецов В.А., Лернер А.С., и др.* // Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2012. № 5. С. 33
8. *Rutberg Ph.G., Bratsev A.N., Kuznetsov V.A., et al.* // Biomass and Bioenergy. 2011. V. 35. P. 495
9. *Рутберг Ф.Г., Сафронов А.А., Наконечный Г.В. и др.* //Известия вузов. Физика. 2007. № 9. Приложение. С. 77

10. Biomass gasification — Tar and particles in product gases — Sampling and analysis. URL: http://www.eeci.net/results/pdf/CEN-Tar-Standard-draft-version-2_1-new-template-version-05–11–04.pdf (дата обращения 1.03.2013).

11. *Šulc J., Štojdl J., Richter M., et al. //* Waste Management. V. 32. Issue 4. P. 692

12. *Jordan A., Akay G. //* Biomass and bioenergy. 2012. V. 42. P. 51

13. *Mayerhofer M., Mitsakis P., Meng X., et al. //* Fuel. 2012. V. 99. P. 204

Influence of air plasma in the process of solid waste gasification on the composition of condensed organic matters in synthesis gas

V.A. Kuznetsov, Y.A. Kuchina, A.S.Lerner, O.Y. Nemenok, V.E.Popov, D.I. Subbotin, A.A.Ufimtsev, and S.V. Shtengel

Institute for Electrophysics and Electric Power of the Russian Academy of Sciences
18 Dvortsovaya emb., Saint-Petersburg, 191186, Russia
E-mail: subbotin1987@mail.ru

Paper deals with the investigation of tar decomposition in the process of air-plasma gasification of waste on the example of wood waste. Tests for the laboratory-scale plant with output of 150 kg/h on raw materials have been performed. Tars were determined at passing of the analyzed gas through isopropyl alcohol chilled to –15 °C with its subsequent analysis by the gas chromatography–mass spectrometry. The obtained results are compared to the literary data.

PACS: 88.20.fs
Keywords: air plasma, synthesis gas, tars, gasification.

Bibliography — 13 references *Received June 10, 2013*