

П.О. ВИНОГРАДОВ<sup>1,2</sup>, Я.С. ДУДКО<sup>1,2</sup>, И.А. САДЫКОВ<sup>1</sup>, В.А. СМЕТАНИЮК<sup>1</sup>, С.М. ФРОЛОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>2</sup> Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

## ГАЗИФИКАЦИЯ ЛУЗГИ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА ПРОДУКТАМИ ГАЗОВОЙ ДЕТОНАЦИИ

Проведены экспериментальные исследования газификации лузги семян подсолнечника ультраперегретыми продуктами импульсной детонации кислородной смеси природного газа: водяным паром и диоксидом углерода. Определены фазовый и химический составы продуктов газификации. Показана возможность самозапитки импульсно-детонационной пушки получаемым энергетическим газом.

P.O. VINOGRADOV<sup>1,2</sup>, YA.S. DUDKO<sup>1,2</sup>, I.A. SADYKOV<sup>1</sup>, V.A. SMETANYUK<sup>1</sup>, S.M. FROLOV<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

<sup>2</sup>N. N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

## GAZIFICATION OF SUNFLOWER SEED HUSKS BY PRODUCTS OF GASEOUS DETONATION

The results of experiments on gasification of sunflower seed husks by ultra-superheated pulsed-detonation products of a natural gas – oxygen mixture, namely, steam and carbon dioxide, are reported. The phase and chemical compositions of the dry off-gas and ash residues are determined. The possibility of self-feeding of the pulsed-detonation gun with the dry off-gas has been demonstrated.

Нами предложена и в течение нескольких лет совершенствуется новая технология аллотермической газификации органических отходов при атмосферном давлении в среде ультраперегретого газифицирующего агента (ГА) – смеси водяного пара и диоксида углерода с температурой выше 2000 °С. Для получения такого ГА используется проточная импульсно-детонационная пушка (ИДП). В ИДП происходит периодическая детонация смеси природного газа с кислородом, а продукты детонации, расширяясь до атмосферного давления, периодически поступают в проточный реактор-газификатор в виде импульсных сверхзвуковых струй. Струи ГА одновременно оказывают три вида воздействий на органические отходы, подаваемые в реактор-газификатор порционно или непрерывно с помощью специального питателя: механическое, термическое и химическое. Механическое воздействие приводит к аэродинамической фрагментации отходов на мелкодисперсные частицы. Термическое воздействие приводит к разогреву вещества и его термолизу. Наконец, химическое воздействие приводит к химическим превращениям с получением термически наиболее устойчивых соединений углерода, водорода и других элементов, содержащихся в органическом сырье, а именно: молекулярного водорода, монооксида углерода, а также простейших гидридов и оксидов. Для изучения процесса газификации отходов нами создана экспериментальная установка, состоящая из ИДП (генератора ГА) и проточного реактора-газификатора. Получаемый энергетический газ, непрерывно вытекающий из реактора-газификатора, далее подвергается очистке от зольных частиц в циклоне и удалению влаги в конденсаторе и направляется потребителю.

Органическое сырье, используемое в данной работе, представляло собой сыпучую лузгу семян подсолнечника. Согласно элементному анализу, сухое сырье содержало 47–50 мас.% углерода и 41–48 мас.% кислорода; в состав сырья дополнительно входили Н, К, Са, S, Mg, P, Cl и Si. Высшая теплотворная способность исходного сырья приблизительно равна 19,2 МДж/кг. При порционной загрузке получаемый энергетический газ содержал 28–38 об.% СО, 20–24 об.% Н<sub>2</sub>, 5,8–8,0 об.% СН<sub>4</sub>, 3–9 об.% С<sub>х</sub>Н<sub>у</sub> и 21–23 об.% СО<sub>2</sub>, где С<sub>х</sub>Н<sub>у</sub> обозначает углеводороды С<sub>2</sub>–С<sub>3</sub>. Масса твердого зольного остатка, собираемого в циклонах, достигала 10% исходной массы сухого сырья. Достигнутая в экспериментах эффективность конверсии углерода превышала 93%. Рентгенофазовый анализ показал наличие в частицах уноса аморфной фазы, графита и магнетита. Аморфная фаза предположительно состояла из углерода. Появление фазы графита обусловлено жесткими термическими условиями проведения эксперимента. Согласно гранулометрическому анализу частиц твердого зольного остатка, их средний размер составил 6–8 мкм. Анализ порошка методом сканирующей зондовой микроскопии показал наличие частиц диаметром 20–50 нм и толщиной 1–4 нм.

Впервые доказана возможность самозапитки ИДП получаемым энергетическим газом, т.е. возможность автономной работы установки без дополнительного горючего (например, природного газа): дополнительное горючее используется только при пусковых операциях и выходе установки на рабочий режим, а затем замещается самим энергетическим газом. Полученное экспериментально значение коэффициента самозапитки – отношения объема энергетического газа, отводимого на самозапитку ИДП, к полному объему получаемого энергетического газа – оказалось на уровне 60%. Измерения показали, что энергетический газ, получаемый при самозапитке ИДП, имеет следующий состав: 44 об.% СО, 18,5 об.% Н<sub>2</sub>, 5 об.% СН<sub>4</sub>, 2 об.% С<sub>х</sub>Н<sub>у</sub> и 30 об.% СО<sub>2</sub>. Измеренная скорость детонации такого энергетического газа в стехиометрической смеси с кислородом составила 1730±50 м/с.