

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

*А. С. Холманский, доктор химических наук*

*Ю. А. Кожевников, В. Г. Чирков, кандидаты технических наук  
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
электрификации сельского хозяйства, г. Москва, Россия*

*Е. Ю. Сорокина, кандидат химических наук*

*Учреждение Российской академии наук «Институт нефтехимического  
синтеза им. А. В. Топчиева», г. Москва, Россия*

*Аннотация. Проведен анализ газов, образующихся при быстром пиролизе целлюлозы. Установлено, что они содержат достаточное количество легких углеводородов, пригодных для использования в качестве возобновляемого источника энергии. Целесообразно в реакторы добавлять более дешевый инертный газ и металл в виде стружки или кусков проволоки.*

*Ключевые слова: пиролиз, газообразные продукты пиролиза, инертный газ, каталитические добавки*

Быстрый пиролиз относят к перспективным способам утилизации отходов деревообрабатывающей, пищевой, сельскохозяйственной промышленности, твердых бытовых отходов с высоким содержанием (до 50 %) органики. Эффективность данного процесса определяется температурой пиролиза и зависит от химического состава сырья, его влажности, присутствия кислорода, катализатора и других условий. В результате пиролиза получают жидкие и газообразные энергоносители, а также твердые продукты, используемые как удобрение, сырье для стройматериалов.

**Цель исследований** – проведение сравнительного химического анализа состава газообразных продуктов быстрого пиролиза различных растительных отходов, используя метод капиллярной газовой хроматографии.

**Материалы и методика исследований.** Исследования проводились на пиролизной установке конструкции Экспериментального завода «Александровский» и ФГБНУ ВИЭСХ (рис. 1, 2, 3).

Пиролизу подвергли древесные опилки (сосновые), торфяную биомассу трех сортов, солому озимой ржи, опавшие листья и отходы текстиля. Быстрый пиролиз проводили при 600 – 650 °С на установке с металлическим реактором [1] и в кварцевом реакторе, состыкованном с ректификационной колонкой (длина 50 см с 7 чашками для сбора жидких продуктов, рубашку колонки охлаждали проточной водой). Газообразные продукты отбирали в емкости из политетрафталата.

Органические компоненты пирогаза анализировали на кварцевой PLOT-колонке с политриметилсилилпропином (ПТМСП) (17м x 0,32 мм,  $d_f=0,4$  мкм) [2] (50°C, ПИД, N<sub>2</sub>, 15 см/с), неорганические (H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO) - на колонке с молекулярными ситами 5А (2 м x 4 мм), на колонке с полисорбом-1 (2 м x 4 мм) определяли CO<sub>2</sub> (40°C, He, термокондуктометрический детектор, J=90 мА).



**Рис.1** Общий вид пиролизной установки конструкции ФГБНУ ВИЭСХ и Экспериментального завода «Александровский»

**Результаты исследований.** В состав пирогаза входили метан, насыщенные и ненасыщенные углеводороды C<sub>2</sub> (этан, этилен), C<sub>3</sub> (пропан, пропилен); C<sub>4</sub> (бутан, изобутелен, бутен, цис-бутен, транс-бутен); H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> и N<sub>2</sub>. Результаты анализа продуктов пиролиза представлены в таблице.

#### Состав газа, получаемого при пиролизе биомассы

Сырье	T <sub>пирол</sub> (°C)	Массовые доли горючих газов (масс %)				
		CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	CO
Древесные опилки	650	14,8	2,9	7,0	3,1	36
Солома озимой ржи	750*	13,7	0,9	11,6	0,4	47
Опавшие листья	~600	55	17	20	8	~30
Отходы текстиля	-<<-	37,8	6,5	4,4	1,2	32
Торф	-<<-	38,7	8,1	11,8	5,2	23,4
	-<<-	19,7	46,6	17,8	13,4	-
	-<<-	43,2	24,7	20,7	11,5	-
	-<<-	35,6	29,9	20,8	13,4	-

\*) пиролиз проведен в кварцевом реакторе с железом в качестве катализатора



**Рис. 2. Горение газовой при пиролизе фракции хвойных опилок**



**Рис.3. Горение газовой фракции при пиролизе бурого угля**

Метан – основной компонент, его содержание варьируется от 14 до 55% масс. и зависит от разновидности природы биомассы. Количество алканов в 2-3 раза больше, чем алкенов. Присутствие металла положительно влияет на образование углеводородов и подтверждает данные работы [3] о влиянии каталитических добавок на степень превращения легких углеводородов в условиях механоактивации.

**Выводы.** Таким образом, проведенный анализ газов, образующихся при быстром пиролизе целлюлозы, показал, что они содержат достаточное количество легких углеводородов, пригодных для использования в качестве возобновляемого источника энергии. Для реализации в промышленном масштабе целесообразно в реакторы добавлять более дешевый инертный газ, например, азот и металл в виде стружки или кусков проволоки.

### Список литературы

1. Безруких П.П. Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве / [П.П. Безруких, И.А. Порев, А.С. Холманский и др.] // Труды 4-й Международной научно-технической конференции. – М.: ВИЭСХ, 2004. – Ч. 4. – С. 241.
2. Березкин В.Г. Политриметилсилилпропин как адсорбент в капиллярной газовой хроматографии / В.Г. Березкин, А.А. Королев, В.С. Хотимский // Доклады академии наук. – 2000. – Т. 370. – №2. – С.200–204.
3. Гамолин О.Г. Механохимические превращения газообразных углеводов: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. хим. наук: спец. 02.00.13 «Нефтехимия» / О.Г. Гамолин. – Томск, 2005. – 22 с.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗОПОДІБНИХ ПРОДУКТІВ ПІРОЛІЗУ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ

*А. С. Холманських, Ю. О. Кожевников, В. Г. Чирков, О. Ю. Сорокіна*

*Анотація. Проведено аналіз газів, що утворюються при швидкому піролізі целюлози. Встановлено, що вони містять достатню кількість легких вуглеводнів, придатних для використання як поновлюване джерело енергії. Доцільно в реактори додавати дешевий інертний газ і метал у вигляді стружки або шматків дроту.*

*Ключові слова: піроліз, газоподібні продукти піролізу, інертний газ, каталітичні добавки*

## STUDY OF GASEOUS PRODUCTS OF PLANT WASTE PYROLYSIS

*A. Kholmanskikh, Y. Kozhevnikov, V. Chirkov, E. Sorokina*

*Annotation. Analysis of gases from the fast pyrolysis of cellulose. It has been established that they contain a sufficient amount of light hydrocarbons, suitable for use as a renewable energy source. It is advisable to add reactors cheaper inert gas and metal in the form of chips or pieces of wire.*

*Key words: pyrolysis, gaseous pyrolysis products an inert gas, catalytic additives*