

**НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ КИПАЮЩИЙ СЛОЙ –  
ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ  
БИОГЕННЫХ ОТХОДОВ**

**Н. С. Муратова, Д. В. Климов, С. Н. Кузьмин**

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор С. А. Нагорнов*

**Ключевые слова:** биомасса; кипящий слой; утилизация; сырье; уровень выбросов.

**Аннотация:** Исследованы выбросы парниковых газов при сжигании биогенных отходов в котле с низкотемпературным кипящим слоем. Показано соответствие уровня выбросов директиве ЕС2001/80. Отмечена необходимость использования дополнительного пылегазоочистного оборудования при сжигании лузги подсолнечника и подстильно-пометной массы птицефабрик.

В России ежегодный прирост биогенного сырья составляет более 500 млн т в пересчете на нефтяной эквивалент [1]. При этом годовой объем добычи нефти в России оценивается в 500 млн т. В нашей стране биомасса может рассматриваться как потенциальная «вторая нефть». На сегодняшний день фактическая доля биомассы в мировой энергетике достигает 10 % (не считая торфа), то есть в 10 раз больше доли других возобновляемых источников энергии, вместе взятых. Биомасса, являясь экологически чистым топливом, может составить реальную конкуренцию ископаемому топливу и в России. Экономически обоснованный практический интерес для потенциальных потребителей представляют вторичные биогенные отходы: отходы сельского хозяйства (солома, подстильно-пометная масса (**ППМ**) птицефабрик), технические бытовые отходы (**ТБО**), иловый остаток очистных сооружений крупных городов. Их утилизация путем прямого сжигания позволяет предприятию получить дополнительную прибыль от реализации тепловой и электрической энергии при наличии когенерации и одновременно избежать штрафов от загрязнения окружающей среды.

---

Муратова Наталья Сергеевна – аспирант кафедры «Энергообеспечение предприятий и теплотехника»; Климов Дмитрий Владимирович – аспирант кафедры «Энергообеспечение предприятий и теплотехника»; Кузьмин Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергообеспечение предприятий и теплотехника», e-mail: tregulyaj@mail.ru, ТамбГТУ, г. Тамбов, Россия.

Технология низкотемпературного (порядка 850 °С) кипящего слоя (КС) [2] при сжигании твердых биогенных отходов позволяет получить тепловую и электрическую энергию с минимальными потерями. При таком уровне температур отсутствует опасность плавления золы, шлакование топки и снижаются выбросы парниковых газов CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O и NO<sub>x</sub>, CO.

При этом зола, образующаяся при сжигании твердых биогенных отходов, может служить товарным продуктом, а выбросы газообразных веществ при правильной организации системы очистки удовлетворяют требованиям, установленным директивой ЕС 2001/80 (табл. 1) и отечественными ГОСТ.

Проведены исследования сжигания нескольких видов биогенных отходов (солома, ППМ, иловый осадок) в котле с КС мощностью 0,5 МВт (рис. 1, 2) с системой мокрой очистки дымовых газов. В установке использовался «мокрый» циклон СИОТ № 2, работающий в режиме «захлебывания». Применение «мокрого» циклона обеспечивает резкое снижение эмиссии вредных выбросов в окружающую среду и повышает КПД котла. Для решения вопросов логистики биогенные отходы предварительно прошли стадию гранулирования, позволяющую легко автоматизировать процесс их доставки и сжигания. В котле сжигались биогенные отходы сельского хозяйства – соломенные гранулы, относящиеся к пятому классу опасности по степени воздействия на окружающую среду и гранулированная подстилочно-пометная масса птицефабрик – четвертый класс опасности.

Характеристики используемого топлива представлены в табл. 2.

Дымовые газы, образующиеся при сжигании биогенных отходов, обычно содержат в себе следующие вредные вещества: пыль (летучая зола); тяжелые металлы; окислы серы (SO<sub>2</sub>); окислы азота (NO<sub>x</sub>); окислы углерода (CO); хлористый водород (HCl); фтористый водород (HF); диоксины и фураны. Эффективность работы системы очистки оценивалась по результатам замеров температуры, коэффициента избытка воздуха, содержания окиси углерода, монооксида азота, окислов азота и окислов серы, а также содержание пыли в дымовых газах на выходе из котельной установки до и после «мокрого» циклона с помощью газоанализатора MRU «VarioPlus» и пылемера S 305 7 L1Y7-S-R Sintrol .

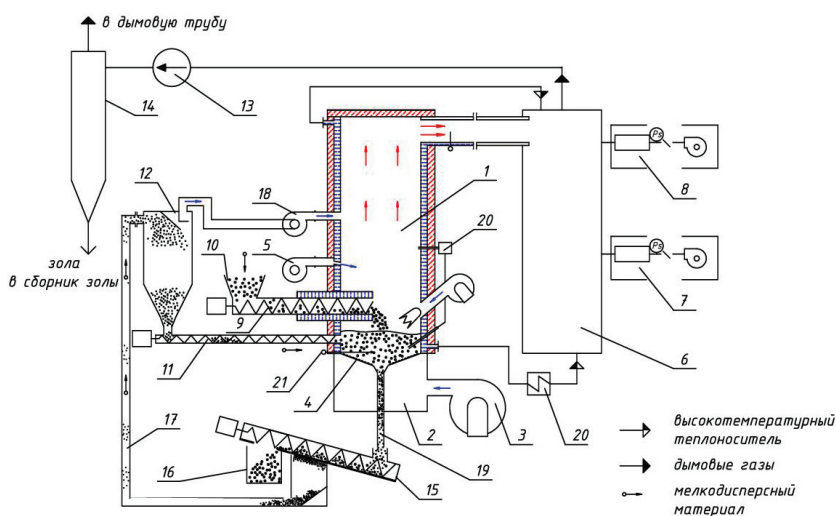
Таблица 1

**Предельные значения выбросов (директива ЕС 2001/80) [2]**

| Теплопроизводительность котельной установки, МВт | Норма выброса, мг/м <sup>3</sup> |                      |                                  |                                  |
|--|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|  | твердых частиц                   | углерода оксида (CO) | азота оксидов (NO <sub>2</sub> ) | серы диоксида (SO <sub>2</sub> ) |
| От 0,1 до 0,3 включительно                       | 600                              | 7500                 | Не устанавливается               |                                  |
| Св. 0,3 « 2 «                                    | 300                              | 1000                 |                                  |                                  |
| « 2 « 25 «                                       | 150                              | 750                  | 500                              | 800                              |
| « 25 « 50 «                                      | 100                              | 500                  |                                  | 600                              |
| « 50 « 100 «                                     | 50                               |                      | 400                              | 200                              |



Рис. 1. Внешний вид котла КС-5



**Рис. 2. Принципиальная схема экспериментальной котельной установки:**  
 1 – топочный узел; 2 – узел подачи первичного (дутьевого) воздуха; 3 – вентилятор для подачи первичного (дутьевого) воздуха; 4 – воздухораспределительная решетка; 5 – вентилятор для подачи вторичного воздуха; 6 – утилизатор тепла дымовых газов; 7 – узел подачи жидкого топлива; 8 – узел подачи газообразного топлива; 9 – узел подачи твердого топлива со шнеком с расходным бункером (поз. 10); 11 – узел подачи инертного материала или катализатора со шнеком и бункером (поз. 12); 13 – узел очистки дымовых газов, включая дымосос и «мокрый» циклон (поз. 14); 15 – узел удаления золы из топочного узла, включая шнек; 16 – сепаратор для отделения крупных частиц; 17 – трубопровод для рециркуляции мелкодисперсного материала; 18 – вентилятор для возврата мелкодисперсного материала в топочный узел и трубу для слива золы (поз. 19); 20 – воздушный теплообменник для охлаждения высокотемпературного теплоносителя; 21 – тепловая изоляция

Таблица 2

## Характеристики различных видов биомассы [3]

| Характеристики                      | Солома | Лузга<br>подсолнечника | ППМ  |
|-------------------------------------|--------|------------------------|------|
| Низшая теплота сгорания, МДж/кг     | 16,6   | 17,1                   | 10,7 |
| Зольность, %                        | 7,48   | 5,1                    | 10,8 |
| Влажность, %                        | 8      | 6...9,85               | 28   |
| Элементный состав, %:               |        |                        |      |
| С                                   | 41     | 51,5...52              | 32,4 |
| Н                                   | 5,85   | 5,08                   | 3,5  |
| N                                   | 0,3    | 0,6...1,4              | 0,1  |
| S                                   | 0,1    | 0,12                   | 0,6  |
| Cl                                  | 0,094  | 0,1                    |      |
| O                                   | 38,3   | 36...43                | 24,5 |
| Температура плавления золы $T$ , °C | 1050   | 800                    | 980  |

Результаты анализа продуктов сгорания показали соответствие в сравнении с предельными значениями, установленными директивой ЕС 2001/80 (в частности концентрация золы в дымовых газах сжигательных установок не должна превышать  $100 \text{ мг/м}^3$  (при  $\text{CO}_2 - 7\%$ )). Мокрая очистка газов позволяет обеспечить данные значения. Содержание пыли в дымовых газах до «мокрого» циклона составляет  $0,5 \text{ г/м}^3$ , после него снизилось до  $0,1 \text{ г/м}^3$ , то есть уменьшилось в пять раз.

Анализ концентрации монооксида углерода в продуктах сгорания (рис. 3) показал, что директиве ЕС 2001/80 соответствует только сжигание соломенных гранул. Для подстильно-пометной массы и гранул из лузги подсолнечника требуется дополнительная степень очистки, например, использование в «мокром» циклоне вместо воды известкового раствора.

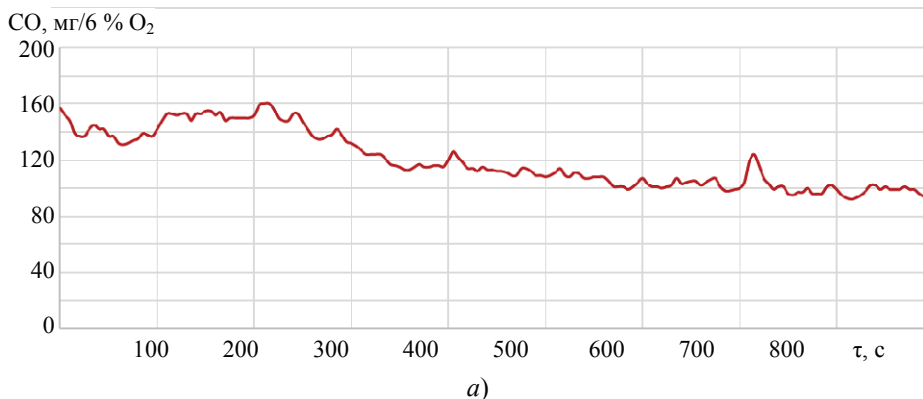
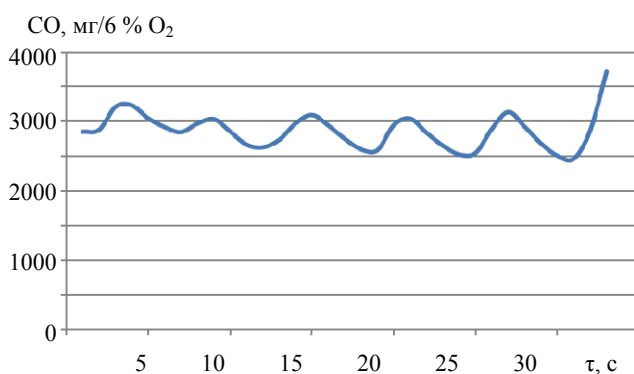
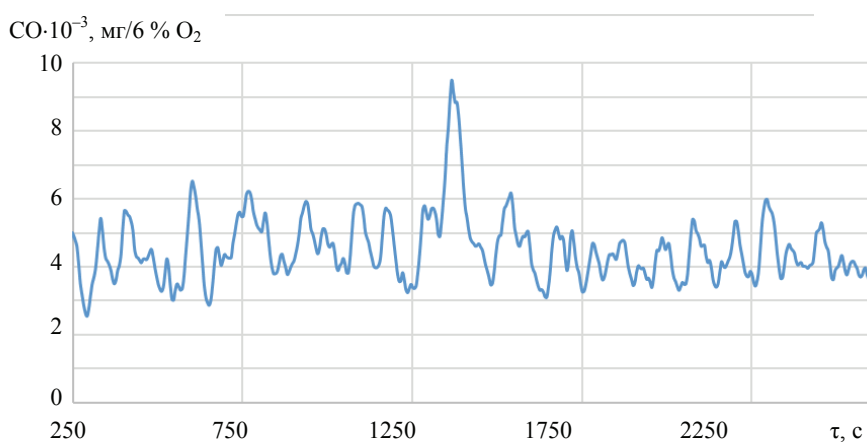


Рис. 3. Концентрация окиси углерода в дымовых газах при сжигании в котле с КС соломенных гранул (а) [3] (начало)



б)



в)

**Рис. 3. Продолжение. Концентрация окиси углерода в дымовых газах при сжигании в котле с КС подстильно-пометной массы (б) и гранул из лузги подсолнечника (в)**

Исходя из вышеизложенного отметим, что при сжигании биомассы необходимо:

- применять первичные меры по снижению уровня выбросов загрязняющих веществ, главным из которых является уменьшение уровня влажности топлива, такие как гранулирование или сушка;
- наладить управление процессом горения с учетом влияния на выбросы таких параметров, как температура горения, время пребывания частиц топлива в топке, коэффициент избытка воздуха;
- рассмотреть в котлах с КС возможность регулирования подачи вторичного воздуха для дожигания топлива;
- применять эффективное пылегазоочистное оборудование для соответствия нормам ЕС 2001/80 (для исследуемых видов).

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57714X0116.*

### *Список литературы*

1. Дегтярёв, К. Биоэнергия без фантастики [Электронный ресурс] / К. Дегтярёв, А. Соловьев. Режим доступа: <http://www.nkj.ru/archive/articles/24490/> (дата обращения: 22.08.2017).
2. Directive 2001/80/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on the Limitation of Emissions of Certain Pollutants into the Air from Large Combustion Plants [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32001L0080> (дата обращения: 22.08.2017).
3. Гарзанов, А. Л. Производство энергии из отходов птицеводства: экономические и технологические аспекты [Электронный ресурс] / А. Л. Гарзанов. – Режим доступа: <http://www.agk-eco.ru/news/proizvodstvo-energii-iz-othodov-pticevodstva.html> (дата обращения: 22.08.2017).

### *References*

1. <http://www.nkj.ru/archive/articles/24490/> (accessed 22 August 2017)
2. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32001L0080> (accessed 22 August 2017)
3. <http://www.agk-eco.ru/news/proizvodstvo-energii-iz-othodov-pticevodstva.html> (accessed 22 August 2017)

---

## **The Low Temperature Fluidized Bed as a Technology for Biogenic Waste Disposal**

**N. S. Muratova, D. V. Klimov, S. N. Kuzmin**

*Tambov State Technical University, Tambov, Russia*

**Keywords:** biomass; fluidized bed; recycling; raw materials; level of emissions.

**Abstract:** The greenhouse gas emissions from burning biogenic waste in the boiler with low-temperature fluidized bed are examined. The compliance of the emissions with Directive EC2001/80 is verified. The rationale for using additional powder-gas purification equipment for combustion of sunflower husk and manure poultry plants is provided.

---

© Н. С. Муратова, Д. В. Климов,  
С. Н. Кузьмин, 2017