

ции. Основным недостатком механической обработки является большое количество потребляемой электрической энергии для привода дробилок.

**Химическая обработка.** Данный тип обработки позволяет разрушать связи между целлюлозой и гемицеллюлозой, растворять лигнин, связывающий волокна растительных субстратов и т. д. Обычно для этого используются растворы кислот различной концентрации, щелочи и оксиды. Химическая обработка увеличивает выход биогаза до 20 %. Недостатком химической обработки являются высокая стоимость кислот и щелочей.

**Биологическая обработка.** Основными этапами образования биогаза являются гидролиз и кислотогенез. При этом гидролитические и кислотообразующие бактерии требуют различных условий окружающей среды. Если эти этапы отделить друг от друга и проводить их в отдельных реакторах, то можно добиться увеличения выхода биогаза на 21 %. К биологической обработке относится добавление в реактор специальных грибов и энзим бактерий, которые увеличивают скорость разложения субстрата.

**Термическая обработка.** Осуществляется нагрев субстрата до температуры 125–190 °С при давлении от 20 до 30 атмосфер. В таких условиях субстрат удерживается некоторое время (обычно до одного часа). При этом нарушается клеточная целостность субстрата, что позволяет увеличить выход биогаза до 20–30 %. Минусом данной обработки является большое потребление энергии для нагрева субстрата до высоких температур.

**Комбинированная обработка.** Представляет собой комбинацию из некоторых вышеперечисленных типов обработок. Например, растительный субстрат может измельчаться (механическая обработка) затем подвергаться воздействию раствора кислоты (химическая обработка) и помещаться в автоклав (термическая обработка).

Также существуют некоторые технологии предварительной обработки, которые используются для субстратов не растительного типа. Например, отходы жизнедеятельности животных и птичий помет широко используются для производства биогаза, но иногда не соответствуют санитарным нормам. В таком случае их сперва стерилизуют или гигиенизируют. Отходы сточных вод могут обрабатываться ультразвуком. Для уменьшения вязкости субстрата может использоваться обработка электрическим полем.

В Национальной лаборатории энергии и геологии (LNEG, Португалия г. Лиссабон) совместно с доктором Луисом Дюартэ нами были проведены предварительные исследования применения механической, термохимической, а также комбинированной обработки отходов кукурузы и пшеничной соломы. Установлена высокая эффективность механической обработки и влияние степени измельчения на интенсивность выработки биогаза. Процесс термохимической обработки планируется еще оптимизировать и доработать, на данный момент его эффективность доказаны не была.

Проведенный анализ и исследования свидетельствует, что каждый вид предварительной обработки имеет свои достоинства и недостатки. Не существует универсального метода, подходящего для всех субстратов. Необходимо для каждого конкретного субстрата проводить дополнительные исследования. Однако очевидно, что предварительная обработка значительно улучшает выход биогаза, а ее использование может быть экономически целесообразно.

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ «ТОРФ-ТРОСТНИК» ENERGY ASSESSMENT FUELS BASED ON «TORF-COTTON»**

***Е. В. Иванова, В. А. Пашинский, А. А. Бутько  
E. Ivanova, V. Pashynski, A. Butsko***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
Pashynski@mail.ru  
Belarusian State University, ISEI BSU,  
Minsk, Republic of Belarus*

Приведены результаты исследования теплотворной способности тростника и на ее основе смеси «торф-тростник»

The results of the study of the calorific ability of reeds and on its basis mixtures of “peat-reed”

*Ключевые слова:* торф, тростник, топливо.

*Keywords:* peat, reed, fuel.

Восстановление торфяных болот направлено, в первую очередь, на урегулирование процесса накопления торфа, предполагающего взаимосвязь растительности, воды и торфа. В качестве растительности при повторном затоплении может быть тростник обыкновенный, который в последующем может быть использован как биотопливо в 1-й год с начала закладки производственной плантации.

Одной из энергетических характеристик топлива «торф–тростник» является теплотворная его способность. Метод оценки высшей теплоты сгорания топлива основан на полном его сжигании в калориметрической бомбе.

Высшую теплоту сгорания испытуемой пробы топлива, кДж/кг, вычисляли по формуле:

$$Q_s^a = Q_b^a - (94S_t^a + \alpha Q_b^a), \quad (1)$$

где  $Q_b^a$  – теплота сгорания топлива в бомбе, кДж/кг;  $S_t^a$  – массовая доля серы в топливе, %;  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий теплоту образования и растворения в воде азотной кислоты, равный 0,001 – для тощих углей и антрацитов; 0,0015 – для других углей, горючих сланцев и торфа;  $Q_b^a$  – теплота сгорания топлива в бомбе, кДж/кг.

$$Q_b^a = \frac{(C_i + c \cdot m_c) \cdot \Delta t - q_1 \cdot m_1}{m}, \quad (2)$$

где  $C_i$  – энергетический эквивалент калориметрической системы, кДж/°С;  $c$  – удельная теплоемкость калориметрической жидкости, кДж/(кг·К);  $m_c$  – масса калориметрической жидкости, кг;  $\Delta t$  – исправленный прирост температуры в сосуде, °С;  $q_1$  – теплота сгорания проволоки, кДж/кг;  $m_1$  – масса сгоревшей проволоки, равная разности масс проволоки до и после сжигания, кг;  $m$  – кажущаяся масса образца топлива, кг.

Результаты исследования высшей теплоты сгорания тростника на четырех выделенных участках ОАО «Торфобрикетный завод «Лидский» представлены в таблице 1.

Низшая теплота сгорания фрезерного торфа рассчитывается по элементарному составу и составляет 8001 кДж/кг. При сжигании смеси топлив «торф–тростник» заданной массовыми долями, низшая теплота сгорания, кДж/кг, 1 кг смеси равна [1]:

$$Q_i^r = (Q_i^r)'g' + (Q_i^r)''(1 - g'), \quad (3)$$

где  $(Q_i^r)'$  – теплота сгорания тростника, кДж/кг;  $g'$  – доля тростника в смеси;  $(Q_i^r)''$  – теплота сгорания торфа, кДж/кг.

По формуле (3) счет выполнили с шагом 5 % в интервале от 5 до 50 %. Результаты расчета представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Высшая теплота сгорания тростника

Номер участка	$Q_s^a, \text{max}$ , кДж/кг	$Q_s^a, \text{min}$ , кДж/кг	$\overline{Q}_s^a$ , кДж/кг	$\sigma$
участок 1	16594	15769	16356	270,4
участок 2	16409	15875	16367	340,2
участок 3	16760	15103	15578	224,7
участок 4	16289	15870	14247	237,1

**Примечание:** при расчете высшей теплоты сгорания пробы топлива  $S_t^a = 0,04$  %.

Таблица 2 – Низшая теплота сгорания торфа

Величина	Содержание тростника в смеси									
	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %
Низшая теплота сгорания $Q_i^r$ , кДж/кг	8027	8059	8092	8124	8156	8189	8221	8253	8286	8318

## ЛИТЕРАТУРА

Мочан, С. И. Тепловой расчет котлов (нормативный метод) / С. И. Мочан [и др.]. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – СПб., 1998. – 257 с.