

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гогиташвили Г.Г, Карчевски Е.Т, Лапин В.М. Управление охраной труда и рисками в соответствии с международными стандартами: Учебн.пособ.- К.:Знание, 2007.-367с.
2. Жидецкий В.Ц. Основы охраны труда: Учебник. ОКА.: Знание, 2010.-375с.
3. Актуальность внедрения требований стандартов серии OHSAS 18000 для улучшения условий труда и профилактики заболеваемости на автотранспортных предприятиях [Электронный ресурс] / Диордичук// Украинский журнал по проблемам медицины труда- 2009.- №4/20.-с.34.-Режим доступа.: [http://www.nbu.gov.ua/portal/cheni\\_biol/ujpmp/2009\\_4/Diodor\\_04\\_09.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/cheni_biol/ujpmp/2009_4/Diodor_04_09.pdf)
4. Стандарты ДСТУ серии ISO и OHSAS [Электронный ресурс]/Режим доступа: <http://www.qmsc.com.ua/index.php/2011-05-04-11-57-58>

УДК 620.95

## ТЕХНОЛОГИИ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ БИОМАССЫ ПРИ ЕЕ ГАЗИФИКАЦИИ

Алиева З.Б., студентка гр. ЭТ-301, Крюченко А.А., студентка гр. ЭТ-301, Бекиров Э.А., д.т.н., профессор

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

В работе рассмотрены типы газификаторов, и технологии газификации биомассы с целью выработки электроэнергии. Рассмотрены типы газификаторов, принцип их работы, схематические установки. Описаны основные уравнения.

**Биомасса, газификация, газификация топлива, пиролиз.**

### ВВЕДЕНИЕ

Сокращение потребления природного газа, развитие энергосбережения и решение экологических проблем являются основными приоритетными задачами, которые стоят сегодня перед Украиной. Эффективность использования энергии в Украине неразрывно связана с диверсификацией используемых энергетических ресурсов. Основным энергетическим ресурсом, традиционно используемым в Украине, является природный газ (ПГ): его доля в общем первичном энергобалансе составляет 40 %. Кроме того, внутренняя добыча природного газа в Украине удовлетворяет собственным потребностям только на 35 %, остальные 65 % – это импортируемый газ, главным образом, из России. Вклад возобновляемых источников энергии (ВИЭ) составляет 2,7 %, и только 0,5 % производства первичной энергии в Украине приходится на биомассу. Такая ситуация создает энергетическую зависимость и снижает энергетическую безопасность Украины.

Украина обладает значительным потенциалом возобновляемых источников энергии, лидирующее место среди которых принадлежит биомассе.

Общий потенциал биомассы в Украине оценивается на уровне 27-35 млн. т.у.т., покрывая потенциально около 15 % общего потребления первичных энергоресурсов по состоянию на 2009 г. Из-за географического расположения Украины главным образом в степной и лесостепной зонах (средняя лесистость составляет 14,7 %) и традиционно высокой аграрной экономической составляющей, основными источниками биомассы являются отходы сельского хозяйства и, в перспективе, энергетические культуры.

### Постановка задачи

Исследовать процессы термической переработки биомассы, такие как газификация или пиролиз.

Газификация – совмещенный процесс сжигания и пиролиза биомассы при недостатке кислорода с получением газообразных продуктов: синтез-газа, генераторного газа, монооксида углерода, водорода, метана, легких углеводородов, двуокиси углерода и азота.

Газификация топлива осуществляется в специальных аппаратах, называемых конвертерами, реакторами, газогенераторами и газификаторами. Получаемый топливный

газ часто содержит значительно количество твердых частиц и поэтому непосредственно может быть использован в котельных, обжигательных печах и других топках, а после охлаждения, очистки и сушки- в качестве топлива в двигателях внутреннего сгорания.

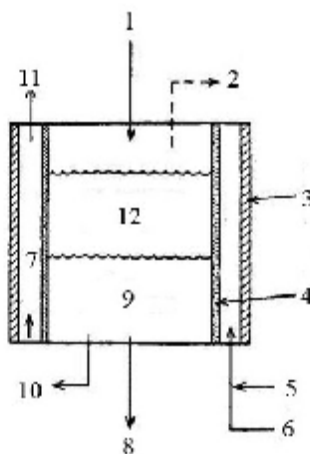
Газификаторы могут быть предназначены для переработки широкого ассортимента сырья, в том числе продуктов леса, сельскохозяйственных отходов, водорослей, твердых городских отходов.

Типы газификаторов.

К основным типам газификаторов, предназначенных для периодической и непрерывной газификации, относятся реакторы с неподвижным (стационарным) и с движущимся (уплотненным) слоем сырья, с перемешивающимся слоем сырья, с псевдооживленным слоем сырья, с проталкивающим слоем сырья и с вращающимся слоем сырья (рис. 1-2). В газификаторе с воздушным дутьем обычно получают низкокалорийный газ с теплотой сгорания 2,98-5,59 МДж/м<sup>3</sup>, а в газификаторе с кислородным дутьем- среднекалорийный газ с теплотой сгорания 7,45-13,04 МДж/м<sup>3</sup>. В системе с двумя реакторами углеродсодержащее вещество нагревается в реакторе с воздушным дутьем за счет контакта с горячим песком. После нагрева в первом реакторе углеродсодержащий материал поступает во второй реактор, где подвергается пиролизу для получения среднекалорийного газа. Газификаторы имеют различную производительность с выходом от 0,03 до 84400 МДж/ч тепла, содержащегося в топливном газе.

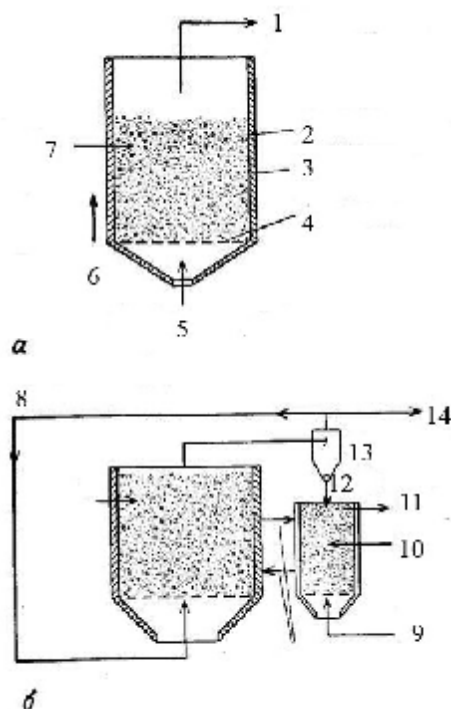
Газификаторы могут эксплуатироваться при атмосферном или более высоком давлении. С повышением давления производительность реактора увеличивается, и поэтому при давлениях выше атмосферного можно использовать аппарат меньшего объема. Топливный газ, получаемый в реакторе с повышенным давлением, не требует сжатия при доставке потребителю. Однако реакторы высокого давления должны иметь специальную конструкцию и систему подачи сырья; трубопроводные коммуникации и соответствующие компоненты системы должны выдерживать высокое давление газа.

В настоящее время большинство реакторов, предназначенных для газификации твердых отходов или биомассы, эксплуатируется при атмосферном давлении.



**Рис. 1. Схема классического процесса пиролиза (наружный обогрев, вертикальный поток, уплотненный слой):**

- 1 - поступление биомассы; 2 - запасной выпуск топливного газа; 3 - камера сгорания с наружной огнеупорной стенкой; 4 - металлическая стенка газификатора; 5 - воздух; 6 - топливо для камеры сгорания; 7- зона сушки;  
8 - углистое вещество (зола); 9 - зона пиролиза; 10 - топливный газ;  
11- продукты сгорания; 12 - зона нагрева реактора



**Рис. 2. Газификатор с псевдооживленным слоем сырья с прямым (а) и  
непрямым (б) обогревом:**

1- загрязненный топливный газ; 2- инертный псевдооживленный;  
3- огнеупорная футеровка; 4- решетка; 5- псевдооживленный воздух; 6- твердые частицы и газ; 7- подача биомассы; 8- топливный газ; 9- воздух; 10- камера сгорания; 11- продукты сгорания; 12- зола; 13- циклон; 14- топливный газ

#### Газификатор с неподвижным слоем сырья

Газификатор представляет собой печь в виде вертикальной шахты подобно доменной печи. Сырье в газификатор подается сверху или сбоку на определенной высоте. Внутри газификатора сырье размещается на неподвижно закрепленной решетке либо на песчаном дне. В газификатор с неподвижным слоем сырья воздух может поступать снизу (восходящий поток), сверху (нисходящий поток) или сбоку (поперечный поток) (рис. 3-4)

В газификаторе с восходящим потоком сырье проходит сверху вниз, а воздух нагнетается снизу вверх через колосниковые решетки. Зона окисления в газификаторах такого типа находится на дне, и газификация происходит в потоке газа при его прохождении через слой сырья.

В газификаторах с нисходящим потоком воздуха нагнетается через сопло или несколько сопел, равномерно размещенных вокруг фурмы. Из фурмы воздух поступает вниз печи.

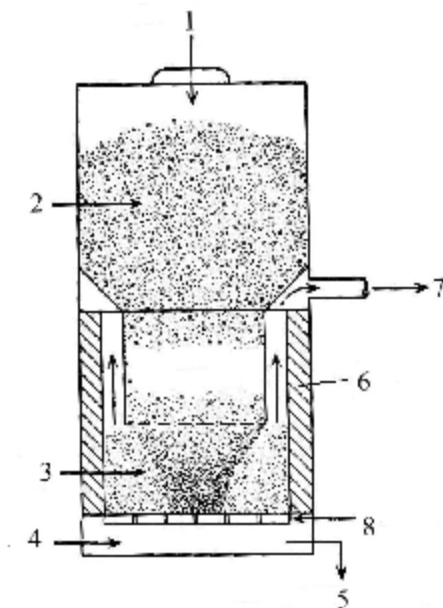
В газификаторах с поперечным потоком воздух подается через горизонтальное сопло. Образующийся топливный газ выпускается через вертикальную решетку, расположенную на противоположной стороне по отношению к соплу. Сырье в газификаторе такого типа подается сверху или сбоку.

В связи с тем, что реакционные газы в газификаторах с восходящим потоком движутся в противотоке с сырьем и выходят из него, имея относительно низкую температуру, получаемый топливный газ обычно отличается высоким содержанием паров смолы.

Газ, образующийся в газификаторах с нисходящим потоком, чище газа, получаемого в газификаторах с восходящим и поперечным потоком: он содержит относительно меньше количество паров смолы. Смола и другие пары проходят через высокотемпературную зону последними, при этом пары смолы подвергаются термическому крекингу. По мере прохождения газов через твердый слой углистого вещества происходит их очистка от

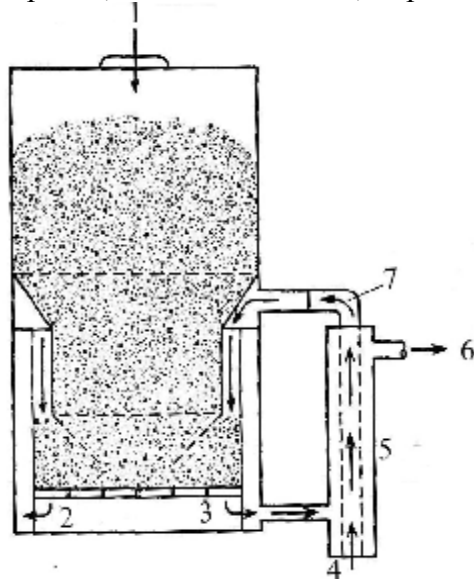
летучей золы и грязи. Реакции, имеющие место в газификаторе с поперечным потоком аналогичны реакциям, происходящим в установке с нисходящим потоком.

Реактор с неподвижным слоем сырья имеет четко выраженный объем реакционной зоны, глубина которой зависит от химического состава сырья, размеров частиц, содержания влаги, температуры и массового расхода воздуха, подаваемого в реактор. Реакторы данного типа имеют высокий К.П.Д. превращения биомассы в топливный газ. Благодаря уплотненному слою отходящие газы часто содержат относительно меньше загрязненных частиц по сравнению с газами реакторов с вращающимся или псевдоожиженным слоем. Реактор определенного размера с восходящим потоком воздуха можно эксплуатировать при различных нагрузках, регулируя скорость подачи воздуха в газификатор. Получаемый топливный газ имеет низкую теплоту сгорания вследствие его разбавления азотом. А также охлаждения в сушильной зоне.



**Рис. 3. Газификатор с восходящим потоком воздуха  
(с неподвижным слоем сырья):**

1- подача биомассы; 2- сушка; 3- зона окисления; 4- воздух; 5- зола; 6- огнеупорная футеровка; 7- топливный газ; 8- решетка



**Рис. 4. Газификатор с нисходящим потоком воздуха  
(с неподвижным слоем сырья):**

1- подача биомассы; 2- зола; 3- топливный газ; 4- воздух; 5- горячий теплообменник; 6- топливный газ; 7- горячий воздух

## Топлива для газификаторов

Газификатор может быть использован для производства топливного газа из различных видов биомассы:

- органические компоненты твердых отходов, в том числе бумаги, тканей, резины, травы, обрезков деревьев, древесины и пищевых отходов;
- лесных отходов, в том числе древесных отходов, коры, обрезков деревьев, опилок и древесного угля;
- сельскохозяйственных отходов;

При этом желательно, чтобы биомасса, предназначенная для переработки в газификаторе, имела следующие характеристики:

1. Среднее содержание влаги: менее 50%
2. Средняя теплота сгорания: не менее 9,8 МДж/кг
3. Средние размеры частиц сырья: 1,27-7,62 см
4. Температура плавления золы: не менее 1149°C
5. Низкое содержание золы (6-10%)
6. Легкая воспламеняемость
7. Однородный химический состав
8. Способность образовывать структурно прочное углистое вещество
9. Возможность относительно простого сбора, хранения и перемещения

Также необходима предварительная обработка сырья. В частности, некоторые виды сельскохозяйственного сырья и лесной продукции также должны быть подвергнуты предварительной обработке. В результате обработки сырья становится возможным равномерное распределение сырья в газификаторе; исключается образования незаплывающих канавок в потоке сырья; уменьшается вероятность зависания сырья внутри газификатора; возможно добиться устойчивого выхода шлака, золы и углистого вещества и облегчается хранение и выполнение операций по перемещению.

Однако в случае предварительной обработки сырья могут потребоваться дополнительные средства на приобретение оборудования для такой обработки сырья и на техническое обслуживание оборудования.

Основные уравнения модели представлены ниже. Плотность биомассы описана в кг/м<sup>3</sup> (твердой фазы).

Изменение количества биомассы:

$$\frac{\partial [(1 - e_m - e_m) \cdot c_w]}{\partial t} = -r_1 - r_2 - r_3 \quad (1)$$

Изменение количества угля:

$$\frac{\partial [(1 - e_m - e_m) \cdot c_c]}{\partial t} = r_3 + (e_m + e_m) \cdot r_5 \quad (2)$$

Изменение количества смолы (биомасла):

$$\frac{\partial \left[ (e_m + e_m) \cdot \frac{y_t \cdot P \cdot M_t}{R \cdot T} \right]}{\partial t} = -\frac{1}{r^n} \cdot \frac{\partial (r^n \cdot N_t \cdot M_t)}{\partial r} + r_2 - (e_m + e_m) \cdot (r_4 + r_5) \quad (3)$$

Изменение количества газовой фазы:

$$\frac{\partial \left[ (e_m + e_m) \cdot \frac{y_g \cdot P \cdot M_g}{R \cdot T} \right]}{\partial t} = -\frac{1}{r^n} \cdot \frac{\partial (r^n \cdot N_g \cdot M_g)}{\partial r} + r_1 - (e_m - e_m) \cdot r_4 \quad (4)$$

Общее уравнение баланса, которое необходимо для вычисления парциального давления:

$$\frac{\partial \left[ (e_m + e_M) \cdot \frac{P}{R \cdot T} \right]}{\partial t} = - \frac{1}{r^n} \cdot \frac{\partial (r^n \cdot (N_t + N_g + N_{in}))}{\partial r} + \frac{r_2}{M_t} - \frac{(e_m + e_M) \cdot (r_4 + r_5)}{M_t} + \frac{r_1}{M_g} + \frac{(e_m + e_M) \cdot r_4}{M_g}. \quad (5)$$

В этих уравнениях:  $r_i$  – скорость  $i$ -той реакции;  $\rho_w$  – плотность биомассы;  $\rho_c$  – плотность угля;  $\varepsilon_m$  – пористость микропор;  $\varepsilon_M$  – пористость макропор;  $P$  – давление;  $N_i$  – мольная доля  $i$ -го компонента;  $M_i$  – молекулярная масса  $i$ -го компонента;  $T$  – температура;  $K$  – универсальная газовая постоянная;  $t$  – время;  $y_i$  – фракция  $i$ -го компонента.

### ВЫВОДЫ

Технологии газификации БМ с целью выработки электроэнергии Достигли высокого уровня развития на лабораторном и пилотном уровне. Существует много демонстрационных и коммерческих установок, действующих в Европе. Вместе с тем следует отметить, что технологии газификации биомассы с целью выработки электроэнергии обладают значительным потенциалом и перспективами развития. Они позволяют осуществить выработку электроэнергии из биомассы с более высоким КПД, чем при традиционном сжигании в котле и выработкой электроэнергии в паровой турбине. Кроме того, они обладают экологическими преимуществами.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Биомасса как источник энергии: Пер. с англ./Под ред. С. Соуфера, О. Заборски.-М.: Мир, 1985-368 с., ил.
2. A.V. Bridgwater. Thermal conversion of biomass and waste: the status. Proc. of Conference "Gasification: the Clean Choice for Carbon Management", 8–10 April 2002, Noordwijk, the Netherlands, pp. 1–25.
3. Miller, R. S. and Bellan, J., 1997. A generalized biomass pyrolysis model based on superimposed cellulose, hemicellulose and lignin kinetics. Combust. Sci. and Tech. 126, 97 – 137.
4. Интернет сайт Международного Энергетического Агентства по вопросам сжигания биомассы и совместимого сжигания «IEA Bioenergy Task 32» <http://www.ieabcc.nl/>
5. Семенов И.В. Проектирование биогазовых установок. –Сумы: ПФ "МакДен ", ИПП "Мрия-1" ЛТД, 1996. – 347 с.