

ДК 633.002.68:620.9

Серьогін О.О. д.т.н., професор, завідувач кафедри теоретичної механіки та ресурсоощадних технологій Національного університету харчових технологій
Осьмак О.О. асистент кафедри теоретичної механіки та ресурсоощадних технологій Національного університету харчових технологій
ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА ЯК ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ

Досліджено властивості і технологічні можливості органічної біомаси (буракового жому). Розглянута доцільність утилізації буракового жому шляхом газифікації з метою отримання генераторного газу.

Ключові слова: органічна біомаса, бураковий жом, газогенерація, генераторний газ.

Штаєнська проблема. Процес газифікації сумішей вугілля і біомаси складається з надзвичайно різноманітних фізичних і хімічних явищ. Роль кожного з таких явищ може бути різною в залежності від характеру і умов перебігу процесу спалювання і газифікації в цілому.

Найважливіше при дослідженні таких комплексних процесів зуміти знайти складних явищ найважливіші елементи від яких залежить перебіг загального процесу і взаємодія складових, що дозволяє керувати процесом газифікації.

Досліджуючи основні стадії, які проходить паливна суміш в різних умовах спалювання і газифікації (наприклад сушіння, перегонка летючих, горіння і газифікація коксового залишку) можливо переконатись в тому, що на всіх стадіях базовим є горіння коксового залишку, іншими словами, стадія горіння вуглецю. Від інтенсивності процесу залежить інтенсивність комбінованого спалювання та газифікації в цілому. Це визначає практичну цінність досліджень процесу горіння суміші вугілля і біомаси, оскільки лише на основі механізму

Серьогін, О.О. Осьмак, О.О. 2012

горіння вуглецю (коксу) можливо в повній мірі оволодіти технічними процесами спалювання і газифікації твердих паливних сумішей біомаси і вугілля. Тільки після цього стає можливою побудова системи розрахунків процесу газифікації і створення нових, продуктивних технологічних схем використання палива.

Роль горіння вуглецю, в процесі газифікації органічної сировини, має велику вагу тому, що:

– по-перше, твердий вуглець, що міститься в суміші біомаси і вугілля (або коксу), є головною горючою компонентою (енергетичне джерело) всієї сумішей натурального низькоякісного вугілля з біомасою;

Екологія

– по-друге, стадія горіння коксового залишку має найбільший перебіг часу в порівнянні з усіма послідовними стадіями процесу;

– по-третє, процес горіння коксу має визначальне значення в створенні теплових умов для розвитку інших споріднених стадій, в тому числі і проходження відновлених процесів, інтенсивність яких має не меншу величину при газифікації.

Насамперед необхідно визначити настільки важливою буде кількість вуглецю і його теплопродуктивність для різних паливних сумішей. Для характеристики візьмемо величину вагової долі вуглецю коксового залишку горючої маси і величину теплотворної здатності коксу до теплотворної здатності горючої маси.

На основі попередніх досліджень основних характеристик паливних сумішей, і результатів їх обробки, в таблиці 1 приведена оцінка деяких сумішей біомаси з низькоякісним вугіллям.

Таблиця 1 має три ряди цифр: в першому приведені значення нижньої теплової здатності, віднесеної до горючої маси палива; в другій колонці – вагові частки вуглецю коксового залишку в горючій масі і в третій теплотворна здатність коксового залишку у вигляді частки до загальної теплотворної здатності горючої маси палива. В цих розрахунках за кількість летючих приймаємо кількість, яка виділяється при нагріві палива до 850 °С.

Таблиця 1

Оцінка паливних характеристик сумішей жому та низькоякісного вугілля

№ п/п	Суміші вугілля (донецький басейн) і біомаси (деревна щепа, лузга соняшника)	Нижня теплотворна здатність, ккал/кг	Коксовий залишок, %	Теплотворна здатність коксового залишку, ккал/кг
1	Марка Б (відсів) + жом	3730	42	1567
2	Марка Б (відсів) + жом	3470	39	1353
3	Марка Д (відсів) + жом	4120	45	1854
4	Марка Д (відсів) + жом	3990	40	1596
5	Марка Г (відсів) + жом	4350	47	2045
6	Марка Г (відсів) + жом	4027	44	1772

З таблиці 1 видно, що вміст вуглецю та його теплотворна здатність в коксовому залишку є домінуючою. Розглянемо картину горіння і газифікації в випадках шарового процесу і окремої ділянки шару.

В якості шарового процесу візьмемо випадок, коли паливо і газифікуючий потік рухаються назустріч один одному (схема протитечії).

Суміш низькоякісного вугілля і біомаси в різних пропорціях, які мають в складі горючі компоненти, завантажують в вертикальну шахту (реактор) протитечею до суміші подаємо газифікуючу складову в якій є кисень. В реакторі створюємо режим піролізу суміші з наступним спалюванням (газифікацією вуглецевих решток піролізу).

В цих умовах проводимо оптимізацію режиму переробки суміші шляхом регулювання витрат газифікуючого агента і співвідношення вмісту в суміші горючих і негорючих складових і вмісту кисню в газифікуючому агенті, а

Екологія

Можливо і шляхом введення твердого негорючого матеріалу або твердого палива в складі суміші.

При цьому температура горіння підтримується в межах 700-1400 °С і одночасно температура газу на виході з реактора нижче 500 °С. Газ, який при цьому виходить, не конденсується і має високу теплотворну здатність та може використовуватися як паливо.

Оцінка енергетичної цінності твердих органічних відходів. Відомо, що ці відходи органічного походження можливо використовувати як паливо. За останні роки накопичений значний досвід оцінки енергетичної цінності органічних речовин. Нижча межа теплоти згорання, при якій можливо спалювати органічну суміш без додаткового палива, складає $Q_{H_{\min}}=3,33$ МДж/кг до 4,19 МДж/кг. Шведський вчений Таннер встановив, що без додаткового палива органічні речовини можуть горіти при вмісті вологи (W) не більше 50 %, золи (A) не більше 60 % і горючої речовини (C) не менше 25 %.

На рис. 1 зображений трикутник Таннера, який показує область горіння органічної речовини без додаткового палива.

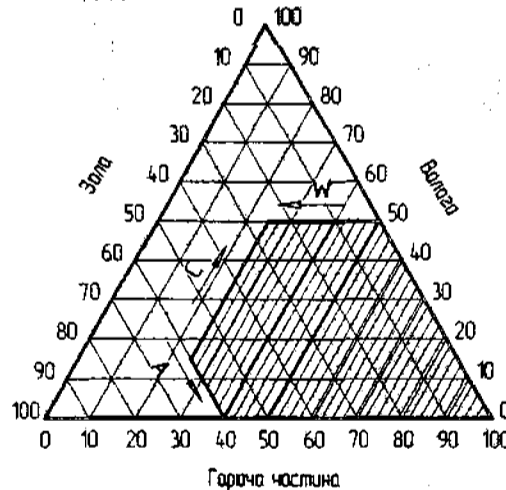


Рис. 1 Трикутник Таннера. Заштрихована зона відповідає концентрації вуглецю, вологи і золи в паливі, що відповідає без донорному (по вуглецю) спалюванню палива.

По Таннеру, нижній кордон теплоти згорання високозольного і вологого органічного продукту, при якому можливе його спалювання без застосування додаткового палива, має такі умови: $W=50\%$, $A=25\%$, $C=25\%$. Таким чином, головне, щоб склад вуглецю був вищий за двадцять п'ять відсотків.

Базуючись на цій залежності зробимо висновок, що більшість відходів органічних речовин необхідно розглядати як сировину для утримання енергоносіїв. Це відноситься до відходів агропромислового комплексу, біологічних, очисних споруд, побутових відходів, відходів харчової та переробної промисловості.

Екологія

Із відомих технологій утилізації органічних відходів лише газифікація: піроліз привабливі тим, що дозволяють вироблювати дешеві енергоносії, роблять економічно обґрунтованими цілий ряд промислових виробництв.

Такий підхід до рішення проблеми утилізації органічних відходів дозволяє перетворити відходи в джерело енергії, створити промислове енерговиробництво і виробляти: електроенергію, теплову енергію, горючі газ, моторне паливо.

Визначення основних параметрів процесу газифікації. Для визначення основних параметрів процесу газифікації необхідно знати елементарний склад палива, на якому працює генератор, і приблизний склад газу, який буде отриманий в газифікаторі після проведення процесу газифікації.

В таблиці 2 приведені основні данні по елементному складу біопалив.

Таблиця 2

Елементарний склад біопалив

Паливо	Органічна маса				Робоче паливо		
	C ^o	H ^o	O ^o +N ^o	Q ^o _в	W _p	A _p	Q ^p _н
	в %			ккал/кг	в %		
Дуб	50,7	6,05	43,25	4390	45,0	2,1	2130
Береза	49,3	6,10	44,60	4460	50,4	0,7	1940
Сосна	50,2	6,0	43,18	4560	57,4	1,4	1700
Жом	50,0	6,4	43,60	4510			
Бадилля цукрового буряка	49,2	5,5	45,3	4500	40,3	5,0	2230

Склад вологи в паливі W_p даний у відсотках ваги по відношенню до робочої маси палива, A_p – у відсотках ваги до сухої маси, а решта компонентів – у відсотках ваги до горючої маси палива.

Горюча маса палива складається з вуглецю C_r, водню H_r, кисню O_r, азоту N_r, сірки S_r (але на практиці N_r і S_r дуже малі, і тому реально використовуються тільки C_r, H_r і O_r).

$$C_r + H_r + O_r + N_r + S_r \approx C_r + H_r + O_r = 100 \%$$

Суха маса палива складається з горючої маси і золи. Компоненти сухої маси палива позначаються буквою «С»

$$C^c + H^c + O^c + N^c + S^c + A^c = 100 \%$$

Для перерахунку складу палива з горючої маси на суху використовують наступну формулу:

$$X^c = \frac{X^r(100 - A^c)}{100}$$

наступну формулу:

$$C^c = \frac{C^r(100 - A^c)}{100}$$

Наприклад для вуглецю в сухій масі:

Робоча маса палива складається із сухої маси і вологи. Компоненти робочої маси позначаються «Р».

Приклад розрахунку.

Екологія

Вихідні дані. В ході сезону, що триває 100...120 діб (приймаємо в розрахунку $T = 100$ діб) на переробку потрапляє цукровий буряк:

$$M_{\text{вих}} = 470000 \text{ т/сезон} = 4700 \text{ т/доба} = 193,833 \text{ т/год}$$

Відходи - жом. Вихід обводненого жому по масі (при $k_{\text{ж}} = 0,8$):

$$M_{\text{ж}} = k_{\text{ж}} \cdot M_{\text{вих}} = 156,667 \text{ т/год}$$

Вміст сухих речовин в жомі $m_{\text{св}} = 26\%$, води відповідно, $m_{\text{в}} = 74\%$.

Вихід сухої речовини за годину: $M_{\text{с}} = M_{\text{ж}} \cdot m_{\text{св}} \cdot 0,01 = 40,733 \text{ т/год}$

Вихід води за годину: $M_{\text{в}} = M_{\text{ж}} \cdot m_{\text{в}} \cdot 0,01 = 115,933 \text{ т/год}$

Витрата енергії на технологію (виробництво цукру) рівна $m_{\text{у.п.}} = 5\%$ по умовному паливу від маси буряку, тобто $M_{\text{у.п.}} = m_{\text{у.п.}} \cdot M_{\text{с}} = 9,792 \text{ т/год}$

При теплотворній здатності 1 кг у.п. $Q_{\text{у.п.}} = 7000 \text{ ккал/кг}$.

Витрата вугілля марки Д при його теплотворній здатності $q_{\text{д}} = 6975 \text{ ккал/кг}$ на виробництво цукру за годину $M_{\text{д.год}} = M_{\text{у.п.}} \cdot 0,01 = 9,792 \text{ т/год}$

Енергосмість (теплотворна здатність) цієї кількості палива дорівнює

$$Q_{\text{Е}} = M_{\text{д.год}} \cdot q_{\text{д}} = 68296875,6 \text{ ккал/год}$$

що відповідає теплотворній потужності ($k = 0,001163$) $N_{\text{Е}} = Q_{\text{Е}} k = 79395,1 \text{ кВт}$

Задача. Утилізувати жом з мінімальними затратами енергії.

1. Оцінка обводненого бурякового жому як палива за умови, що суха речовина жому складається з целюлози, а вміст на горючу масу основних елементів рівний:

Компонент	% об'єму
$C_{\text{гж}} =$	50,0
$H_{\text{гж}} =$	6,29
$O_{\text{гж}} =$	43,71
$\Sigma =$	100,0
$W_{\text{ж}} =$	74,0
$A_{\text{с}} =$	2,0

Кількість азоту в розрахунках не враховується із-за малого (<2 %) вмісту з метою спрощення оціночних розрахунків.

Приймаємо ККД газогенератора $\eta_{\text{г}} = 0,7$, а константу рівноваги $k_{\text{р}} = 0,76$, що відповідає температурі газу $t_{\text{г}} = 750 \text{ }^{\circ}\text{C}$, що виходить з активного шару палива. Визначимо склад робочого палива. Вміст золи в робочому паливі визначимо з рівняння при $A_{\text{с}} = A_{\text{ж}}$ і $W_{\text{р}} = W_{\text{ж}}$, $A_{\text{р}} = A_{\text{с}} \cdot ((100 - W_{\text{р}}) / 100) = 0,52\%$

Коефіцієнт складу палива $k = 0,01 \cdot (100 - (A_{\text{р}} + W_{\text{р}})) = 0,25\%$

Вміст вуглецю, водню і кисню в робочому паливі знаходимо за формулами: $C_{\text{р}} = C_{\text{гж}} \cdot k = 12,74$; $H_{\text{р}} = H_{\text{гж}} \cdot k = 1,6$; $O_{\text{р}} = O_{\text{гж}} \cdot k = 11,14$

Теплотворність робочого палива визначаємо за формулою:

$$Q_{\text{рн}} = 81 \cdot C_{\text{р}} + 246 \cdot H_{\text{р}} - 26 \cdot (O_{\text{р}} - S_{\text{р}}) - 6 \cdot W_{\text{р}} = 693 \text{ ккал/кг}$$

Приймаємо, що втрати вуглецю з золюю і шлаком $\delta = 7\%$. Дійсна кількість вуглецю $C_{\text{рд}}$, що приймає участь в процесі газогенерації, буде менше $C_{\text{р}}$ і визначається за формулою: $C_{\text{рд}} = C_{\text{р}} \cdot (100 - \delta) / 100 = 11,85\%$,

що як видно, менше граничної концентрації вуглецю - 25 %.

Виходячи з залежності описаної Таннером, вміст вуглецю не відповідає умові без донорного спалювання обводненого жому.

Екологія

2. Оцінка сухого жому як палива. Теплотворна здатність жому при зниженні вологи до $W_{ж} = 10\%$

Компонент	% об'єму
$C_{гж} =$	50,0
$H_{гж} =$	6,29
$O_{гж} =$	43,71
$\Sigma =$	100,0
$W_{ж} =$	10,0
$A_c =$	2,0

$$A_p = A_c (100 - W_p) / 100 = 1,8\%$$

Коефіцієнт складу палива $k = 0,01 \cdot (100 - (A_p + W_p)) = 0,88\%$

Вміст вуглецю, водню і кисню в робочому паливі знаходимо за формулами: $C_p = C_{гж} \cdot k = 44,1$; $H_p = H_{гж} \cdot k = 5,55$; $O_p = O_{гж} \cdot k = 38,55$

Теплотворність робочого палива визначаємо за формулою:

$$Q_{рн} = 81 \cdot C_p + 246 \cdot H_p - 26 \cdot (O_p - S_p) - 6 \cdot W_p = 3634,5 \text{ ккал/кг}$$

Теплотворна здатність частини сухого жому, що знаходиться в 1 кг обводненого жому (26 %) $Q'_{рн} = 0,01 \cdot Q_{рн} \cdot M_{св} = 945,0 \text{ ккал/кг}$

Додатковий досвід сушіння різноманітних речовин, в тому числі і жому, говорить про те, що витрата палива на сушіння 1 кг вологої сировини лежить в межах 560-956 ккал/кг. Тобто енергії, що міститься в речовині 1 кг обводненого жому достатньо для випаровування всієї вологи в кількості 0,74 кг/кг.

Приймаючи витрату теплової енергії на сушку жому від $W_{ж} = 74\%$ до $W_{ж} = 10\%$ рівним (по аналогії з сушінням вугілля) $q_{ж} = 900 \text{ ккал/кг}$ визначимо кількість вихідного жому, яку можна висушити, використовуючи енергію органічної компоненти 1 кг обезводненого $m = Q_{рн} / q_{ж} = 4,038 \text{ кг/кг}$

3. Пропозиція по утилізації обводненого жому в автоенергетичному режимі. Виходячи з викладеної вище оцінки жому як палива, можна зробити висновок про те, що енергоємності його органічних компонентів досить для утилізації обводненого бурякового жому в автоенергетичному режимі.

Для найбільш повного використання енергопотенціалу жому, доцільно застосувати технологію газифікації твердого обводненого палива, схема ланцюга апаратів і механізмів якої наведена на рисунку 2.

Установка працює наступним чином. Обводнений буряковий жом подають насосом - 1 в сушарку - 2. Потім сухий жом подають через бункер - 5 в газогенератор - 4, де його піддають газифікації за допомогою повітряного дуття в присутності парів води. При необхідності в додатковій волозі для протікання процесу газифікації обводнений жом подають по байпасній лінії. В разі недостатнього вмісту вуглецю в вихідному обводненому жомі через бункер - 5 подають на газифікацію донорний вуглець, наприклад, кам'яне або деревне низькоякісне вугілля. Повітря, в необхідній кількості, подають в газогенератор - 4 з допомогою компресора - 3. Зола, отримана в процесі газифікації, являє собою продукт спалювання целюлози і може бути використана в якості мінерального добрива.

Отриманий генераторний газ звільняють від механічних домішок в циклоні - 6, потім в конденсаторі - 7 його охолоджують і видаляють основну кількість

Екологія

золи і смолистих речовин, а остаточно очищують і готують для використання в паливних пристроях котлоагрегату – 2 в фільтрі тонкої очистки – 8.

Крім того, генераторний газ може бути застосований в котлоагрегатах або двигунах внутрішнього згоряння в якості альтернативного палива.

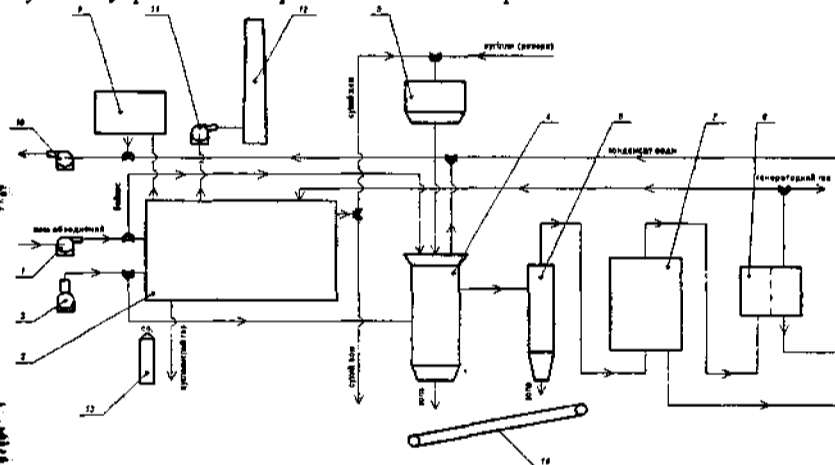


Рис. 2 Схема установки автоенергетической утилизации бурякового жома.

При проходженні твердого палива через газогенератор енергія твердої речовини перетворюється в енергію газоподібної речовини з втратою 10-11 % нагрів обладнання. ККД перетворення близько 90 %. 10 % тепла можна використовувати у вигляді нагрітої води для побутових потреб.

Всьогожск. Відходи цукрового виробництва у вигляді бурякового жома, цибуля, хвостиків, фільтраційного осаду мають значні енергетичні ресурси. Додаючи відходи біомаси з низькоякісним вугіллям і утворюючи суміш по зробленим нами методикам створюємо генераторний газ який може бути використаний в заміщення природному імпортному газу.

Перелік посилань:

1. Осмак О.О., Серьогін О.О. Системний підхід до вирішення проблеми кваліфікації рослинної біомаси / Харчова промисловість, Київ НУХТ - №10-11, 2011. – С. 302-308.
2. Осмак О.О., Серьогін О.О. Газогенерація – безвідходна і автоенергетична технологія утилізації промислових відходів Збірник наукових праць / Вінницького національного аграрного університету, Вінниця – випуск 8, 2011. – С. 87-91.
3. Сергеев В.В. Газогенераторные установки на растительном биомассе // Энергонадзор-информ. - 2007. - № 2 (32). - С.26-28.

Сергін А.А., Осмак А.А. Использование отходов сахарного производства как энергетических ресурсов

Исследованы свойства и технологические возможности органической биомассы (свекловичного жома). Рассмотрена целесообразность утилизации

Экологія

свекловичного жома путем газификации с целью получением генераторного газа.

Ключевые слова: органическая биомасса, свекловичный жом, газогенерация, генераторный газ.

Seregin A., Osmak A. The use of waste from sugar production as energy resources

The properties and technological opportunities of organic biomass (beet pulp). Consider the feasibility of utilization of beet pulp by gasification to obtain gasgenerator.

Key words: organic biomass beet pulp, hazoheneratsiya, generator gas.