

УДК 662.63 : 66.091

ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ПРОЦЕСУ ПАРОВОПІТРЯНОЇ ГАЗИФІКАЦІЇ БІОМАСИ

Г.А. Голуб¹, Н.М. Цивенкова², В.В. Чуба³, С.В. Ключ⁴
^{1,2,3}Національний університет біоресурсів і
природокористування України, 03041, м. Київ, вул. Героїв
Оборони, 15,

⁴Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
02094, вул. Гната Хоткевича, 20а, м. Київ
тел.: +38(095) 311-50-50, +38(050) 313-89-03,
+38(095)-277-71-10, +38(097)987-29-92
e-mail: gagolub@ukr.net, vvchuba@ukr.net,
nataliyatsyvenkova@gmail.com, sergiy.klyus@gmail.com

*Представлено методу розрахунку теплового
балансу процесу пароповітряної газифікації біомаси.*

Ключові слова: газогенератор, процес газифікації,
матеріальний та тепловий баланс, рослинна сировина.

HEAT BALANCE OF AIR-STEAM GASIFICATION OF BIOMASS

G. Golub¹, N. Tsyvenkova², V. Chuba³, S. Klius⁴
^{1,2,3}National University of Life and Environmental Sciences of
Ukraine, 03041, 15 Heroyiv Oborony St., Kyiv,
⁴Institute of Renewable Energy of the National Academy of
Sciences of Ukraine, 02094, 20A Hnata Khotkevycha St., Kyiv,
Ukraine, tel.: +38(095) 311-50-50, +38(050) 313-89-03,
+38(095)-277-71-10, +38(097)987-29-92,
e-mail: gagolub@ukr.net, vvchuba@ukr.net,
nataliyatsyvenkova@gmail.com, sergiy.klyus@gmail.com

*The method of calculating the heat balance of the steam-
air gasification process of biomass is presented.*

Keywords: *gas producer, gasification process, material and heat balance, vegetable raw materials.*

ORCID: ¹0000-0002-2388-0405, ²0000-0003-1703-4306,
³0000-0002-4119-0520, ⁴0000-0002-5804-4925.

Розрахунки теплового балансу виконані для газогенераторної установки, представленої в [1].

Вища теплотворна здатність q_1 газифікованого за годину палива, Дж/год:

$$q_1 = Q_p^B \cdot B/h, \quad (1)$$

де Q_p^B – вища теплотворна здатність робочого палива, Дж/кг; B – кількість палива, кг; h – час, год.

Фізичне тепло q_2 палива, Дж/год:

$$q_2 = B \cdot C_m \cdot t_m / h, \quad (2)$$

де C_m – теплоємність палива в інтервалі температур від 0 до t_m , Дж/(кг·°C); t_m – температура палива, яке завантажується до газогенератора, °C.

Тепловміст сухого повітря q_3 , введеного в газогенератор, Дж/год:

$$q_3 = G_{cn} \cdot (C_p)_{пов} \cdot t_{cm}, \quad (3)$$

де $(C_p)_{пов}$ – теплоємність повітря в інтервалі температур від 0 до t_{cm} , Дж/(кг·°C); t_{cm} – температура пароповітряної суміші біля входу до газогенератора, °C; G_{cn} – годинна кількість сухого повітря, кг/год.

Тепловміст пари q_4 в пароповітряній суміші, Дж/год:

$$q_4 = (G'_{пара} + d_{нов} \cdot G_{cn})(1 - X) \cdot i_{cm}, \quad (4)$$

де i_{cm} – тепловміст кілограма насиченої пари при температурі t_{cm} , Дж/кг; $G'_{пара}$ – годинна кількість пари, що фактично ввійшла до газогенератора, кг/год; $d_{нов}$ –

вологівміст повітря, кг/кг; X – вологість пари в суміші, %.

Тепловміст вологи, принесеної дуттям до газогенератора краплями q_5 , Дж/кг:

$$q_5 = (G'_{нара} + d_{ноє} \cdot G_{сн}) \cdot X \cdot t_{см}. \quad (5)$$

Витратні статті балансу складаються з вищої теплотворності сухого газу, його фізичного тепла, тепловмісту водяної пари в газі, теплотворності смоли, пилу, виносу, коксоподібного залишку та залишкового компонента, який містить втрати теплоти в середовище та усі невраховані втрати теплоти та помилки спостережень.

Вища теплотворна здатність годинної кількості газу q'_1 , Дж/год:

$$q'_1 = Q_{ге}^{сз} \cdot G_{сз}. \quad (6)$$

де $Q_{ге}^{сз}$ – вища теплотворна здатність газу, Дж/кг; $G_{сз}$ – годинна вагова кількість сухого газу, кг/год.

Фізичне тепло газу q'_2 , Дж/год:

$$q'_2 = G_{сз} \cdot (C_p)_{газ} \cdot t_{газ}, \quad (7)$$

де $(C_p)_{газ}$ – теплоємність при сталому тиску кілограма сухого генераторного газу в інтервалі температур від 0 до $t_{газ}$, Дж/(кг·°C);

Теплоємність газу визначається з теплоємностей компонентів, що входять до складу газу, Дж/кг. сух. газу:

$$\begin{aligned} (C_p)_{газ} = & (C_p)_{CO_2} \cdot \frac{CO_2^g}{100} + (C_p)_{O_2} \cdot \frac{O_2^g}{100} + (C_p)_{C_2H_4} \cdot \frac{C_2H_4^g}{100} + \\ & + (C_p)_{CH_4} \cdot \frac{CH_4^g}{100} + (C_p)_{CO} \cdot \frac{CO^g}{100} + (C_p)_{H_2} \cdot \frac{H_2^g}{100} + (C_p)_{N_2} \cdot \frac{N_2^g}{100} \end{aligned} \quad (8)$$

де CO_2^g та O_2^g – вагові відсотки газів у 1 кг газу.

Теплоємність метану та етилену визначається за [14].
 Тепловміст водяної пари в газі q'_3 , Дж/год:

$$q'_3 = d_{газ} \cdot G_{сз} \cdot i_{н2}, \quad (9)$$

$d_{газ}$ – вологовміст газу, кг/кг;

Оскільки водяна пара в газі перегріта, тепловміст кілограма пари $i_{пг}$ визначають за формулою, Дж/кг пари:

$$i_{пг} = i_{мп} + (C_p)_n \cdot t_g - t_{мп}, \quad (10)$$

де $i_{мп}$ – тепловміст кілограма насиченої пари при точці роси, відповідній насиченню газу, Дж/кг пари; $(C_p)_n$ – теплоємність пари в інтервалі температур від $t_{мп}$ до t_g , Дж/(кг·°C); $t_{мп}$ – температура точки роси, визначена пружністю водяної пари, визначеної за показами психрометра, °C.

Вища теплотворна здатність смоли q'_4 в газі, Дж/год:

$$q'_4 = Q_{пг}^{см} \cdot CM / h, \quad (11)$$

де $Q_{пг}^{см}$ – вища робоча теплотворна здатність смоли, Дж/кг; CM – загальна кількість смоли, кг.

Вища теплотворна здатність виносу з пиловловлювачів і каналів Дж/год:

$$q'_5 = Q_{пг}^{\Pi} \cdot \Pi / h, \quad (12)$$

де $Q_{пг}^{\Pi}$ – вища робоча теплотворна здатність виносу, Дж/кг; Π – загальна кількість виносу, кг.

Вища теплотворна здатність пилу в газі, q'_6 Дж/год:

$$q'_6 = Q_{пг}^{пл} \cdot \Pi_{л} / h, \quad (13)$$

де $Q_{пг}^{пл}$ – вища робоча теплотворна здатність пилу в газі, Дж/кг; $\Pi_{л}$ – загальна кількість пилу в газі, кг.

Теплота, втрачена у коксоподібних залишках біомаси q'_7 , Дж/год:

$$q'_7 = 81 \cdot C_R \cdot B / h, \quad (14)$$

де C_R – кількість вуглецю у коксоподібних залишках біомаси у % з ваги палива, %.

Втрати теплоти в середовище q'_8 , тощо, об'єднані в залишковий компонент, визначаємо з різниці прибутку

теплоти та підрахованих уже втрат:

$$q'_8 = \sum q_{1-5} - \sum q'_{1-7}. \quad (15)$$

Методика дозволяє виконати загально-енергетичну оцінку процесу пароповітряної газифікації біомаси в прямопотоковому газогенераторі. Зводячи підраховані величини теплового балансу до табл. 1, матимемо загальну картину енергетичного потоку в газогенераторі.

Таблиця 1. Тепловий баланс газогенератора

Надходження теплоти	Дж/год	%
Теплотворна здатність палива	q_1	59
Фізичне тепло палива	q_2	1
Тепловміст сухого повітря дуття	q_3	5
Тепловміст водяної пари дуття	q_4	15
Тепловміст крапельної води в дутті	q_5	0,5
Утилізація фізичного тепла газу	q_6	19,5
Разом	$\sum q_{1-5}$	100 %
Витрати теплоти	Дж/год	%
Теплотворна здатність газу	q'_1	73,7
Фізичне тепло газу	q'_2	21,5
Тепловміст водяної пари в газі	q'_3	1,5
Теплотворна здатність смоли	q'_4	0,3
Теплотворна здатність виносу	q'_5	1,3
Теплотворна здатність пилу	q'_6	1
Залишковий компонент	q'_8	0,7
Разом	$\sum q'_{1-8}$	100 %

Література:

1. Tsyvenkova N.M., Golubenko A.A., Kukharets S.M., Biletsky V.R. The research of downdraft gas producer heat productivity on straw. Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara, 2017. Vol. 15, Iss. 3. P. 213–218.