

ISSN 2413-7723

ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

Науково-технічний журнал



2
2022

ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

Науково-технічний журнал

№ 2, 2022

Заснований у січні 1960 р. Виходить друком 4 рази на рік

Зміст

Паливо та енергетика

- 4 Nikitin E.E., Komkov I.S. An Integrated Approach to the Development of Plans for Transformation of Electrical and Heat Supply Systems

Енергозберігаючі технології

- 17 Кириченко В.І., Кириченко В.В., Нездоровін В.П. Систематизація та техніко-економічний аналіз методів та технологій перероблення технічних олій на альтернативні палива (Огляд)
- 33 Вольчин І.А., Провалов О.Ю., Мокрецький В.О. Вплив каталітичної паливної добавки на процес виробництва клінкеру

Переробка сировини та ресурсозбереження

- 45 Мікульонюк І.О. Стан та перспективи поводження з металовмісними побутовими відходами
- 62 Праженнік Ю.Г., Ховавко О.І., Марчук Ю.В., Снігур О.В., Небесний А.А. Теоретичні та експериментальні дослідження методів термохімічної переробки твердих побутових відходів
- 71 Осьмак О.О., Серьогін О.О. Новітні технології виробництва та використання біопалив

Захист навколишнього середовища

- 76 Вольчин І.А., Ясинецький А.О., Пшибильські В.Я. Екологічні аспекти ролі «зеленого» амоніаку в енергетиці України

Відповідальний секретар — Ільєнко Борис Кузьмич
Провідний редактор — Світна Олена Миколаївна

Матеріали номера затверджено Вченою радою Інституту газу НАНУ, протокол № 7 від 06.06.2022.

Підписано до друку 08.06.2022. Формат 84 × 108/16. Папір мел. Друк офс. Наклад 130 прим.

Надруковано ТОВ «Лазурит Поліграф», вул. Леваневського, 8/7, 03058 Київ, Україна, тел.: (044) 417 21 70.

УДК 633.002.68:620.9
DOI: 10.33070/etars.2.2022.06

Осьмак О.О., Серьогін О.О., докт. техн. наук
Національний університет харчових технологій, Київ
вул. Володимирська, 68, 01033 Київ, Україна, e-mail: seryoginoo@ukr.net

Новітні технології виробництва та використання біопалив

Наведено порівняльні характеристики твердих паливних матеріалів, елементний склад горючої та робочої мас. Здійснено розрахунок основних геометричних параметрів газогенератора для питомої продуктивності 350 кг/м²-год. Наведено результати економічної доцільності процесу газифікації палива. Оцінено прибуток від впровадження технології використання біопалив. Наведені у роботі розрахунки свідчать про ефективність та доцільність використання біопалива як енергоресурсів України. *Бібл. 5, табл. 2.*

Ключові слова: енергоресурси, біомаса, теплотворна здатність, газифікація палива, газогенератор

Використання альтернативних та відновлювальних джерел енергії є одним з дієвих шляхів, направлених на подолання кризових явищ перш за все в комунальній та промисловій енергетиці [1–5]. Як енергоресурси біомасу (бадилля, хвостики буряку, відходи спиртової та масложирової промисловості тощо) вже використовують у Польщі, Угорщині, Чехії та інших країнах Європи.

Для опалення та технологічних потреб використовують побічні продукти агропромислового комплексу та переробної промисловості України. Енергоресурси рослинної біомаси (солома, зернові культури, кукурудза, соняшник, буряк, гілки плодівих дерев та винограду) можливо ефективно утилізувати, якщо вони розташовані на невеликих відстанях від об'єкту опалення (бажано

на самому підприємстві) та їх кількість достатня для виробничих потреб. При цьому важливими елементами технічного забезпечення відповідних технологій є: а) машини по підготовці біомаси для переробки; б) сховища та обладнання для зберігання біомаси; в) технологічне обладнання для спалювання, газогенерації, піролізу, метанування біомаси; г) системи контролю, керування технологічними процесами на всіх етапах виробництва та застосування біопалив.

Сільськогосподарська переробна біомаса, що може використовуватись як паливо, має ряд особливостей, які відрізняють її від традиційних енергоресурсів, що застосовуються для опалення та технологічних цілей.

Деякі характеристики твердого біопалива, у першу чергу, зовнішні (щільність, розміри части-

нок, специфічність поверхні) за допомогою подрібнення та ущільнення можуть бути змінені, проте його основні паливно-технологічні характеристики прийнято розглядати як сталі.

Найважливішою паливно-технологічною характеристикою біомаси є її теплотворна здатність, яка залежить від багатьох чинників: генетичних особливостей енергетичних рослин, впливу навколишнього середовища, умов зберігання, вологості тощо.

Середня теплотворна здатність енергетичної сировини наведена нижче:

Солома, МДж/кг	–	10,5
Стебла кукурудзи, МДж/кг	–	12,5
Гілки плодівих дерев, МДж/кг	–	10,5
Стебла соняшника, МДж/кг	–	12,5
Виноградна лоза, МДж/кг	–	14,2

Теплотворна здатність біопалива (кДж/кг) зменшується пропорційно збільшенню вмісту в матеріалі води та може бути визначена за формулою:

$$Q_n^D = Q_n^B - 25,5 W,$$

де Q_n^B – вища теплота згорання; W – вміст води в біомасі, %.

Температуру горіння біомаси із сільськогосподарських відходів можна розрахувати, знаючи її складові. У процесі горіння біомаси (її перетворення на CO_2 та H_2O) корисна енергія, що виділяється, складає приблизно 450 кДж на 1 моль вуглецю (38 МДж на 12 кг вуглецю).

Порівняльний вміст окремих хімічних складових соломи з іншими матеріалами, що використовуються як тверде біопаливо, наведено у табл. 1.

Нами розроблена методика розрахунку енергоконверсії різних органічних сумішей. Приймаємо елементний склад горючої та робочої маси використовуюваного палива (табл. 2).

Таблиця 1. Порівняльна характеристика твердих паливних матеріалів

Table 1. Comparative characteristics of solid fuel materials

Паливний матеріал	Вміст у зневодненому та беззольному матеріалі, %				
	C	O	H	N	S
Солома	39–43	37–39	4,8–5,6	0,3–0,6	0,04–0,1
Дерево	48–50	41–43	5,4–6,0	0,1–0,8	0,03–0,04
Деревне вугілля	84	13	3	0,1	0,01
Буре вугілля	63–74	16–26	5,0–6,0	0,09–0,19	0,03–0,39
Кам'яне вугілля	81–92	1,4–10	4,0–5,0	0,12–0,17	0,06–0,14

Таблиця 2. Характеристики використовуюваного палива

Table 2. Characteristics of the used fuel

Показник	На горючу масу палива, %	На робочу масу палива, %
Вуглець C	50,5	32,825
Азот N_2	0,6	0,39
Водень H_2	6,2	4,03
Кисень O_2	42,7	27,755
Разом	100,0	100,0
Зольність A	15,0	15,0
Вологість W	20,0	20,0

При аналітичному розрахунку теплотворна здатність палива знаходиться за формулою Менделєєва:

вища теплотворна здатність

$$Q^B = 81 C + 300 H + 26 \cdot (O - S) - 6 (9 H + W) = 4252 \text{ ккал/кг};$$

нижча теплотворна здатність

$$Q^H = Q^B - 51 H_p - W_p = 3926 \text{ ккал/кг}.$$

Питома маса палива $\gamma_T = 700 \text{ кг/м}^3$.

Елементний склад прийнятого генераторного газу наведений нижче:

CO_2 , %	–	14,6
O_2 , %	–	0,7 %
CO , %	–	12,8 %
H_2 , %	–	15,1 %
CH_4 , %	–	2,5 %
N_2 , %	–	54,3 %
Разом, %	–	100,0 %

Теплотворна здатність вказаного складу 1 м³ генераторного газу при нормальних фізичних умовах буде рівною:

$$Q_{н.у.} = 30,35 CO + 25,7 H_2 + 85,7 CH_4 = 30,35 \times 12,8 + 25,7 \times 15,1 + 85,7 \times 2,5 = 991 \text{ ккал/м}^3.$$

Вихід сухого газу з 1 кг палива (за розрахунком) рівний - $V_c = 1,96 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Витрата палива $M_{рп} = 443 \text{ кг/год}$.

Витрата повітря на дуття

$$V_{\text{пов}} = 1,35 \text{ м}^3/\text{кг} (1,74 \text{ кг газу}/\text{кг палива}),$$

або

$$V_t = 1,35 \times 443 = 598 \text{ м}^3/\text{год} = \\ = 9,97 \text{ м}^3/\text{хв} = 0,166 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Розрахунок основних геометричних параметрів газогенератора

Задаємося необхідною тепловою потужністю газогенератора (вона може бути задана), наприклад, $N_{\text{пал.}} = 1000 \text{ кВт}$, або $860.000 \text{ ккал}/\text{год}$.

При теплотворній здатності генераторного газу $Q_{\text{н.у.}} = 991 \text{ ккал}/\text{м}^3$ потрібен газогенератор з потужністю по виробленому газу:

$$N_{\text{газ}} = N_{\text{пал.}}/Q_{\text{н.у.}} = 860000/991 = \\ = 868 \text{ м}^3/\text{год}.$$

При виході газу з 1 кг палива $V_{\text{газ}} = 1,96 \text{ м}^3/\text{кг}$ потрібно газифікувати палива:

$$M_{\text{р.пал.}} = N_{\text{газ}}/V_{\text{газ}} = 868/1,96 = \\ = 443,0 \text{ кг}/\text{год}.$$

При питомій продуктивності газогенератора $n = 350 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{год})$ площа поперечного перерізу шахти газогенератора рівна:

$$S_{\text{ш}} = M_{\text{р.пал.}}/n = 443/350 = 1,13 \text{ м}^2.$$

При цьому діаметр шахти рівний:

$$D_{\text{ш}} = (4 S_{\text{ш}}/\pi)^{0,5} = (4 \times 1,13/\pi)^{0,5} = 1,2 \text{ м}.$$

Висока вологість палива зумовлює його попереднє сушіння. Процес підсушки краще проводити у спеціалізованій частині газогенератора для максимального використання тепла процесу.

Час просушування приймаємо $h = 4 \text{ год}$.

При цьому об'єм камери сушки рівний:

$$V_{\text{кам.с.}} = \gamma_{\text{пал.}} \cdot h/M_{\text{р.пал.}} = \\ = 700 \times 4/443 = 6,3 \text{ м}^3.$$

Висота шахти підсушки рівна:

$$H_{\text{ш}} = 4 V_{\text{кам.с.}}/\pi D_{\text{ш}}^2 = \\ = 4 \times 6,3/\pi \cdot 1,2^2 = 5,6 \text{ м}.$$

Висота реакторної зони (робоча зона) газогенератора $H_{\text{роб.зони}} = 0,85 \text{ м}$.

Загальна висота шахти газогенератора рівна:

$$H_{\text{г}} = H_{\text{ш}} + H_{\text{роб.зони}} = 6,5 \text{ м}.$$

Загальна маса газогенератора складається з маси, кг:

- основного корпусу — 1920;
- допоміжного корпусу — 1280;
- перекриття шахти газогенератора — 1180;
- циклона — 350;
- площадки для обслуговування — 1670;
- усього ~ 8000 кг.

Розрахунок економічної доцільності газифікації палива

Постановка задачі: «Всі витрати мають окупатися за перший рік експлуатації».

Розрахунок витрат на виготовлення газогенератора

Витрати складаються з вартості, грн:

- виготовлення газогенератора та необхідних металоконструкцій (ціна за 1 т обладнання — 6000 грн) — $8 \times 6000 = 48000$;
- повітродувного пристрою — 5000;
- конвеєра подачі палива — 10000;
- вартості проекту — 10000 (якщо замовників декілька);
- коефіцієнт неврахованих витрат — 1,15;
- усього ~ 82000.

При цьому амортизаційні відрахування при умові окупності за 1 рік рівні:

$$82000/12 = 6830 \text{ грн}/\text{міс}.$$

Витрати та затрати на електроенергію:

$$5,0 \text{ кВт} \times 24 \times 0,2 \times 30 = 720 \text{ грн}/\text{міс}.$$

Зарплата 2 робітників по 3 зміни з врахуванням $K_{\text{сп.}} = 1,2$ та нарахуваннями на заробітну плату 1,38 та ставкою 500 грн/міс.:

$$2 \times 3 \times 1,2 \times 500 \times 1,38 = 4968 \text{ грн}/\text{міс}.$$

Вартість палива до розрахунку не приймається.

Вироблення еквівалентного товарного газу газогенератором

При еквіваленті природному газу $Q_{н.у.}/Q_{пр.газ}$ = 0,117 кількість генераторного газу рівна:

$$E_{газ.} = N_{пал.} \cdot Q_{н.у.}/Q_{пр.газ} = 868000 \times 991/8500 = 101 \text{ м}^3.$$

$$V_{ел.ен.} = E_{газ.} \cdot 24 \times 30 = 101 \times 24 \times 30 = 72720 \text{ м}^3/\text{міс.}$$

Вартість виробленого газу при вартості природного $C_{пр}$ = 0,3 грн/м³:

$$C_{газ.} = V_{ел.ен.} \cdot C_{пр} = 72720 \times 0,3 = 21800 \text{ грн/міс.}$$

Тобто прогнозований прибуток в місяць становитиме:

$$D = C_{газ.} - \text{витрати} = 21800 - 6830 - 720 - 4968 = 9282 \text{ грн/міс.}$$

При первинних витратах 82000 грн затрати окупаються за 82000/9282 ~ 9 міс.

Список літератури

1. Серьогін О.О., Осьмак О.О. Альтернативні види палива – перспективний напрям розвитку енергетичного комплексу України. *Енерготехнології та ресурсозбереження. 2021. № 1. С. 53–58.*
2. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Жовнир Н.М., Матвеев Ю.В. Современное состояние и перспективы развития биоэнергетики в Украине. *Промышленная теплотехника. 2005. Т. 27, № 1. С. 78–85.*
3. Мхитарян Н.М., Кудря С.А., Резцов В.Ф., Суржик Т.В., Яценко Л.В. Потенциал и перспективы использования возобновляемых источников энергии на Украине. *Альтернативная энергетика и экология. 2022. № 8. С. 150–163.*
4. Dubrovin V., Melnychuk M. Agricultural and environmental engineering for Bioenergy Production. *Proceeding of the 33th CIOSTA and 5th Cigr Conference, Reggio Colabria. 2009. Vol. 2. P. 1121–1123.*
5. Левин Б.И. Использование твердых бытовых отходов в системах энергоснабжения. М. : Энергоиздат, 1982. 224 с.

Надійшла до редакції 20.10.2020

Осьмак А.А., Серьогін А.А., докт. техн. наук

Национальный университет пищевых технологий, Киев

ул. Владимирская, 68, 01033 Киев, Украина, e-mail: seryoginoo@ukr.net

Новейшие технологии производства и использования биотоплива

Приведены сравнительные характеристики твердых топливных материалов, элементный состав горючей и рабочей масс. Произведен расчет основных геометрических параметров газогенератора для удельной производительности 350 кг/(м²·ч). Приведены результаты экономической целесообразности процесса газификации топлива. Оценена прибыль от внедрения технологии использования биотоплива. Представленные в работе расчеты свидетельствуют об эффективности и целесообразности использования биотоплива в качестве энергоресурсов Украины. *Библ. 5, табл. 2.*

Ключевые слова: энергоресурсы, биомасса, теплотворная способность, газификация топлива, газогенератор.

Os'mak O.O., Seryohin O.O., Doctor of Technical Sciences
National University of Food Technologies, Kyiv
68, Volodymyrska Str., 01033 Kyiv, Ukraine, e-mail: seryoginoo@ukr.net

Newest Technology of Production and Use the Biofuels

The article presents a comparative characteristic of solid fuel materials, the elemental composition of the combustible and working masses. The calculation of the main geometrical parameters of the gas generator for a specific productivity of 350 kg/(m²·h) was made. The results of the economic feasibility of the fuel gasification process are presented, and the profit from the introduction of biofuel technology is also estimated. The calculations presented in the work testify to the efficiency and expediency of using biofuels as energy resources of Ukraine. *Bibl. 5, Tab. 2.*

Keywords: energy, biomass, calorific value, fuel gasification, gasifier.

References

1. Seryogin O.O., Osmak O.O. [Alternative fuels are a promising direction for the development of Ukraine's energy sector]. *Energotekhnologii ta Resursoberegenie*. 2021. No. 1. P. 53–58. (Ukr.)
2. Geletuha G.G., Jeleznaya T.A., Jovmir N.M., Matveyev Y.B. [Current state and prospects of bioenergy development in Ukraine]. *Promishlennaya teplotekhnika*. 2005. 27 (1). pp. 78–85. (Rus.)
3. Mhitarian N.M., Kydria S.A., Reszov V.F., Syrjik T.V., Yatzenko L.V. [Potential and prospects for the use of renewable energy sources in Ukraine]. *Alternativnaya energetika i ekologiya*. 2022. No. 8. pp. 150–163. (Rus.)
4. Dubrovin V., Melnychuk M. Agricultural & environmental engineering for Bioenergy Production. *Proceedings of the 33th CIOSTA & 5th CIGR Conference*. Reggio Calabria. 2009. 2. pp. 1121–1123.
5. Levin B.I. [Use of municipal solid waste in power supply systems]. Moscow : Energoizdat, 1982. 224 p. (Rus.)

Received October 20, 2020