

УДК 662.76.032

Д.С.Довженко, Є.Г.Новицька (Ін-т відновлюваної енергетики НАН України, Київ),  
М.В.Медведенко (Національний авіаційний університет, Київ)

### Технічна та економічна доцільність використання газогенераторних установок на вантажних автомобілях

*Проаналізовані технологічні параметри існуючих мобільних газогенераторних установок, які монтуються на вантажних автомобілях. Визначена економічна доцільність створення газогенераторної установки, яка працює на різних видах палива.*

**Ключові слова:** газифікація, генераторний газ, типова схема, автомобільна газогенераторна установка, технічна та економічна доцільність.

*Проанализированы технологические параметры существующих мобильных газогенераторных установок, которые монтируются на грузовых автомобилях. Оценена экономическая целесообразность создания газогенераторной установки, работающей на различных видах сырья для газификации.*

**Ключевые слова:** газификация, генераторный газ, автомобильная газогенераторная установка, техническая и экономическая целесообразность.

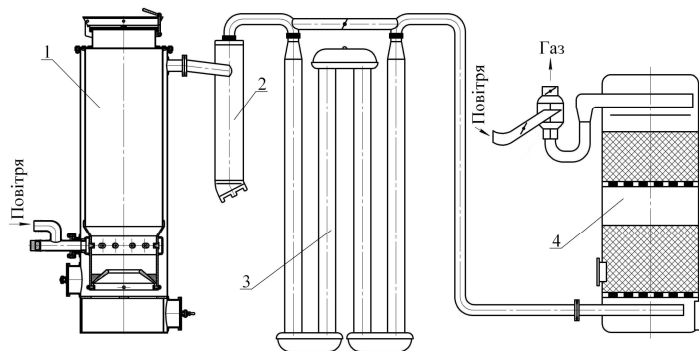
Наразі у світі спостерігається тенденція до скорочення запасів нафтопродуктів та інших викопних енергоносіїв, які є сировиною для виробництва моторного палива. Одним із шляхів, який дозволить частково замінити паливо з викопних енергоносіїв, є застосування в якості моторного палива генераторного газу, що отримується шляхом газифікації біомаси. Технологія газифікації біомаси була винайдена майже 200 років тому. Вона знайшла своє широке промислове впровадження в Радянському Союзі у 30-40-х роках. У той час ця технологія використовувалась в енергетиці та транспорті. Згодом завдяки освоєнню газових та нафтових родовищ потреби в генераторному газі на основі біомаси скоротились і в кінці 50-х років його виробництво припинилося повністю.

На даний час у зв'язку з вичерпаністю нафто-

вих та газових родовищ України і необхідністю забезпечення енергетичної незалежності держави виникла потреба оцінки технологічної можливості та економічної доцільності реанімування технології виробництва та застосування генераторного газу в якості моторного палива для транспортних засобів.

Тому метою даної роботи є аналіз існуючих технологічних характеристик газогенераторних установок як можливих джерел живлення вантажного автомобіля та оцінка економічної доцільності їх впровадження в транспортному господарстві України.

На рис. 1 наведено принципову технологічну схему мобільної газогенераторної установки для вантажного транспорту, а на рис. 2 – приклад встановлення цієї установки на вантажному автомобілі.



**Рис. 1.** Принципова технологічна схема автомобільної газогенераторної установки:  
1 – газогенератор; 2 – циклон; 3 – охолоджувач; 4 – фільтр тонкої очистки.

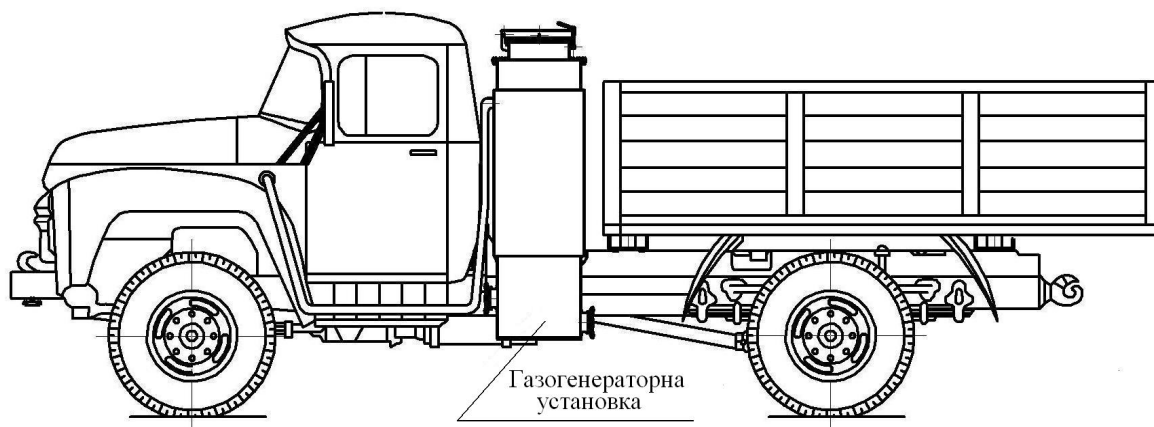


Рис. 2. Приклад встановлення газогенераторної установки на вантажному автомобілі.

Як видно з рис. 1, автомобільна газогенераторна установка складається з наступних основних елементів:

1. Газогенератора, який призначений для виробництва повітряного генераторного газу, що використовується в якості палива двигуна внутрішнього згоряння.

2. Циклона, який призначений для грубої очистки повітряного генераторного газу від великих частинок пилу та домішок.

3. Охолоджувача, який призначений для зменшення температури генераторного газу до робочої (з 1200-1500°С до 20-30°С).

4. Фільтра тонкої очистки, який призначений для очистки повітряного генераторного газу від мікрочастинок пилу та інших механічних домішок дуже малого розміру.

Технічні характеристики деяких вітчизняних та іноземних газогенераторів, що виготовляються на даний час та виготовлялися в минулому, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Технічні характеристики деяких газогенераторів, які використовуються на автомобільному транспорті [1–4]

Перелік технічних характеристик	Значення
1. Марка газогенератора	УГК-150
2. Термін виробництва	з 2010 р. по теперішній час
3. Габарити	Діаметр 600 мм, висота 1800 мм
4. Експлуатаційні характеристики	Разове завантаження – біля 100 кг твердого палива Пробіг повністю завантаженого автомобіля на одному завантаженні – 100 км
5. Характеристики сировини, що газифікується	Відходи деревини, паливні брикети з будь-якої органічної сировини, що виготовляються у відповідності до ТУ У 29.2-32529323.001/2006 Вологість – до 30% Розмір сировини (деревинні чурки) $\approx 30 \times 40 \times 60$ мм
6. Характеристики генераторного газу, що виробляється	Вихід генераторного газу – 150 м <sup>3</sup> газу/год Нижча теплотворна здатність – 1150-1350 ккал/м <sup>3</sup> Оксид вуглецю CO – 20,9% Водень H – 16,1% Метан CH <sub>4</sub> – 2,3% Кисень O <sub>2</sub> – 1,6% Вуглекислий газ CO <sub>2</sub> – 9,2% Азот N – 49,7%
7. Відходи після газифікації	Зола $\approx 3\%$ від об'єму сировини, що використовується для газифікації
8. Виробник	Фірма "Наша енергія", Україна, м Київ, вул. Дегтярівська, 39 Тел: +38 044 22-10-26, e-mail: our-energy@ukr.net
1. Марка газогенератора	GEK power plant

Перелік технічних характеристик	Значення
2. Термін виробництва	з 2008 р. по теперішній час
3. Габарити	Маса 400 кг; площа, яку займає газогенератор: 1220×1220 мм
4. Експлуатаційні характеристики	Разове завантаження – біля 72 кг твердого палива Пробіг повністю завантаженого автомобіля на одному завантаженні – 100 км
5. Характеристики сировини, що газифікується	Споживання сировини, що газифікується – 12 кг/год Вологість – до 25% Розміри брикетів сировини: 40×40×60 мм
6. Характеристики генераторного газу, що виробляється	Вихід генераторного газу – 60 м <sup>3</sup> газу/год Нижча теплотворна здатність – 1200-1300 ккал/ м <sup>3</sup> Оксид вуглецю CO – 21% Водень Н – 15% Метан CH <sub>4</sub> – 2,5% Кисень O <sub>2</sub> – 1,6% Вуглекислий газ CO <sub>2</sub> – 9,5% Азот N – 49,7%
7. Відходи після газифікації	Зола ≈ 5% від об'єму сировини, що використовується для газифікації
8. Виробник	ГЕК Tel.:510-845-1500 Address: 1010 Murray Street Berkeley, CA 94710, USA
1. Марка газогенератора	<i>Victory grid CHP</i>
2. Термін виробництва	з 2007 р. по теперішній час
3. Габарити	Діаметр – 1200 мм, висота – 2080 мм
4. Експлуатаційні характеристики	Робоча температура – 1050-1250°С Разове завантаження – біля 75 кг твердого палива
5. Характеристики сировини, що газифікується	Споживання сировини, що газифікується – 12 кг/год Вологість – до 25% Розміри брикетів сировини: 40×40×60 мм
6. Характеристики генераторного газу, що виробляється	Нижча теплотворна здатність – 1200-1300 ккал/м <sup>3</sup> Оксид вуглецю CO – 20,5% Водень Н – 16,2% Метан CH <sub>4</sub> – 2,8% Кисень O <sub>2</sub> – 1,9% Вуглекислий газ CO – 9,2% Азот N – 49,7%
7. Відходи після газифікації	Зола ≈ 3% від об'єму сировини, що використовується для газифікації
8. Виробник	Фірма <i>Victory gas works, USA</i>
1. Марка газогенератора	ЗиС-21
2. Термін виробництва	1936-1938 рр.
3. Габарити	Висота – 1360 мм, діаметр – 502 мм, вага – 440 кг
4. Експлуатаційні характеристики	Витрати деревини – 80-85 кг/100 км (переважно твердих порід) Вологість – 20-25% Запас ходу – 90 км
5. Характеристики сировини, що газифікується	Вологість – до 25% Розміри брикетів сировини: 40×40×70 мм
6. Характеристики генераторного газу, що виробляється	Нижча теплотворна здатність – 1067-1375 ккал/ м <sup>3</sup> Оксид вуглецю CO – 20,3% Водень Н – 15% Метан CH <sub>4</sub> – 2,9 Кисень O <sub>2</sub> – 1,8% Вуглекислий газ CO <sub>2</sub> – 9,6% Азот N – 49,7%
7. Відходи після газифікації	Зола ≈ 3% від об'єму сировини, що використовується для газифікації
8. Виробник	УралАЗ

Таблиця 2. Порівняльна таблиця вищенаведених технічних характеристик газогенераторів

Порівняльні характеристики	Марка газогенератора			
	УГК-150	GEK power plant	Victory grid CHP	ЗиС-21
1. Разове завантаження, кг	100	72	75	–
2. Нижча теплотворна здатність генераторного газу, ккал/м <sup>3</sup>	1150-1350	1200-1300	1200-1300	1067-1375
3. Кількість відходів газифікації (% від об'єму сировини)	3	5	3	3
4. Розрахунковий об'єм газогенератора, м <sup>3</sup>	0,5	3,21	2,35	0,269
5. Питоме споживання сировини, що використовується для виробництва генераторного газу, на одиницю об'єму, кг/год на м <sup>3</sup>	–	5,1	5,1	–

Використовуючи відомості таблиці 1, складено порівняльну таблицю 2 технічних характеристик, розглянутих у таблиці 1. Перші три технічні характеристики у таблиці 2 наведені згідно відомостей таблиці 1. Інші дві розраховані на основі даних таблиці 1 за формулами:

- об'єм газогенератора  $V$  :

$$V = H \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \tag{1}$$

де  $D$  – діаметр газогенератора;  $H$  – висота газогенератора.

Слід відмітити, що для газогенератора марки *GEK power plant* в наявних літературних джерелах наведена лише площа, яку займає цей газогенератор, тому розрахунки його об'єму виконані приблизно методом порівняння об'єму цього газогенератора з об'ємом газогенератора марки *Victory grid CHP*. Площа, яку займають ці газогенератори, майже однакова і становить:

$$Gek\ power\ plant : 1,22\ м \cdot 1,22\ м = 1,488\ м^2 ;$$

$$Victory\ grid\ CHP : \frac{3,14 \cdot (1,2\ м)^2}{4} = 1,13\ м^2 .$$

Тому можна прийняти, що висота цих газогенераторів пропорційна їх масі. Відношення мас зазначених газогенераторів становить:

$$\frac{Victory\ grid\ CHP}{GEK\ power\ plant} = \frac{385\ кг}{400\ кг} = 0,9625 .$$

Відповідно й висота газогенератора *GEK power plant* буде більшою і становитиме:

$$H = \frac{2,08\ м}{0,9625} = 2,16\ м ,$$

звідки отримуємо об'єм газогенератора *GEK power plant*:

$$V = 1,22\ м \cdot 1,22\ м \cdot 2,16\ м = 3,21\ м^3 ;$$

- питоме споживання сировини, що використовується для виробництва генераторного газу, на одиницю об'єму газогенератора  $G_{num}$  :

$$G_{num} = \frac{g}{V}, \tag{2}$$

де  $g$  – споживання сировини;  $V$  – об'єм газогенератора.

Співставлення відомостей, наведених у таблиці 2, показує:

- При експлуатації розглянутих газогенераторів отримується повітряний генераторний газ із майже однаковою нижчою теплотворною здатністю (1067-1375 ккал/м<sup>3</sup>).
- Кількість відходів газифікації сировини при виробництві генераторного газу однакова (3%).
- Питоме споживання сировини на одиницю об'єму газогенератора теж однакове (5,1 кг/год на 1 м<sup>3</sup>).
- Має місце значна різниця об'ємів розглянутих газогенераторів (майже в 12 разів), що, можливо, викликано різними їх конструкціями або різними продуктивностями.

Таким чином, аналіз технічних характеристик деяких існуючих газогенераторів показав, що з технічної точки зору подальше впровадження цього джерела енергії є перспективним і потребує додаткових досліджень з метою удосконалення конструкції газогенераторів та підвищення експлуатаційної якості палива, що виробляється (повітряного генераторного газу).

Перейдемо далі до оцінки економічної доцільності впровадження газогенераторних устано-

вок на вантажному автомобільному транспорті. Ці дослідження виконаємо для найбільш часто застосовуваних для газифікації видів палива, які наведені в таблиці 4, на прикладі газогенератора, що встановлений на вантажному автомобілі ЗиЛ-130. При цьому приймемо наступне:

- На автомобілі ЗиЛ-130 використовується газогенератор продуктивністю, яка повністю забезпечує потреби двигуна.
- Зазначений газогенератор безперервно працює 8 год/добу, протягом 24 діб/міс., 12 міс./рік. Тобто за рік газогенератор працює 2304 год.
- Технічні характеристики двигуна автомобіля ЗиЛ-130 відповідають наведеному у таблиці 3.

**Таблиця 3. Технічні характеристики двигуна автомобіля ЗиЛ-130 [5]**

Модель і тип двигуна	ЗиЛ-130, V-подібний, чотиритактний, карбюраторний, верхньоклапанний
Розташування циліндрів	Під кутом 90°
Кількість циліндрів	8
Діаметр циліндрів та хід поршня, мм	100×95
Робочий об'єм циліндрів, л	6
Ступінь стиску	6,5
Номінальна потужність при 3200 об/хв, кВт (к.с.)	110,4 (150)

Використовуючи перелічені припущення, виконаємо оцінку економічної доцільності впровадження газогенераторної установки на вантажному автомобілі ЗиЛ-130. Для цього застосуємо наступну методику:

- На основі відомостей про технічні характеристики двигуна автомобіля ЗиЛ-130 (таблиця 3) та хімічного складу генераторного газу (таблиця 4) розраховуються наступні технічні парамет-

ри: вихід генераторного газу з 1 кг різних видів сировини; витрати генераторного газу, що необхідні для забезпечення безперервної роботи двигуна протягом однієї години; річні витрати різних видів сировини і річне споживання генераторного газу. Ці технічні параметри потрібні для розрахунків капітальних та експлуатаційних витрат.

- Оцінюються капітальні витрати, необхідні для створення газогенератора.
- Визначаються експлуатаційні витрати, що мають місце при використанні газогенератора.
- Обчислюються техніко-економічні показники (собівартість 1м<sup>3</sup> генераторного газу, термін окупності, коефіцієнт корисної дії газогенератора).

**1. Розрахунок технічних параметрів:**

а) Вихід генераторного газу з 1 кг різних видів сировини розраховується за наступною широко відомою формулою [6–10]:

$$V_{1\text{кг}} = \frac{V_{\text{моля}} \cdot (C^P - C_{II}) \cdot 100}{\gamma_C (CO + CO_2 + CH_4) \cdot 100}, \quad (3)$$

де  $V_{1\text{кг}}$  – вихід сухого повітряного генераторного газу з 1 кг сировини;  $C^P$  – кількість вуглецю в сировині, яка перейшла в газ, на 1 кг сировини, у % по вазі. Згідно [6, 9]  $C^P = 42,41\%$ ;  $C_{II}$  – втрати вуглецю, %. Згідно [6, 9]  $C_{II} = 1,5\%$ ; CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> – склад сухого газу в % по об'єму. Згідно [6] експериментально визначений склад повітряного генераторного газу дорівнює наведеному в таблиці 4;  $V_{\text{моля}}$  – об'єм одного моля газу при 0°С і 760 мм рт.ст. згідно робіт [6, 8, 9, 11] дорівнює 22,4 л/моль;  $\gamma_C$  – молекулярна вага вуглецю, становить 12 г/моль.

Підставляючи у формулу (3) числові значення величин і виконуючи розрахунки, отримуємо вихід сухого генераторного газу з різних видів сировини, який наведений у таблиці 4.

Таблиця 4. Склад та вихід повітряного генераторного газу з 1 кг сировини [6, 12]

Назва сировини	Експериментально отриманий склад сухо-го генераторного газу в % по об'єму	Вихід повітряного генераторного газу з 1 кг сировини, м <sup>3</sup> /кг	Річні витрати сировини, т/рік	Нижча теплотворна здатність сировини, ккал/кг	Нижча теплотворна здатність генераторного газу, ккал/м <sup>3</sup>
Пелети	CO <sub>2</sub> – 11%; O <sub>2</sub> – 0,2% CO – 22%; H <sub>2</sub> – 16% CH <sub>4</sub> – 4%; N <sub>2</sub> – 55,5%	2,44	185	4500	1600
Тріски	CO <sub>2</sub> – 9%; O <sub>2</sub> – 0,1% CO – 18%; H <sub>2</sub> – 14% CH <sub>4</sub> – 3,5%; N <sub>2</sub> – 50,5%	2,96	152,6	4550	1500
Деревне вугілля	CO <sub>2</sub> – 1,7-2,5% O <sub>2</sub> – 0,1-0,2% CO – 31,2-31,8% H <sub>2</sub> – 3,5-6,3% CH <sub>4</sub> – 2,0-2,2% N <sub>2</sub> – 57-61,5%	3,96	114	5600	1315
Деревинні чурки	CO <sub>2</sub> – 8%; O <sub>2</sub> – 0,1% CO – 18%; H <sub>2</sub> – 12% CH <sub>4</sub> – 2,5%; N <sub>2</sub> – 50,5%	3,17	142,5	4500	1375
Буре вугілля	CO <sub>2</sub> – 12%; O <sub>2</sub> – 0,2% CO – 21%; H <sub>2</sub> – 17% CH <sub>4</sub> – 3,35%; N <sub>2</sub> – 55,5%	3,46	130,5	5000	1400
Малозольний торф	CO <sub>2</sub> – 1,8%; O <sub>2</sub> – 0,5% CO – 32,5%; H <sub>2</sub> – 15,2% CH <sub>4</sub> – 1,7%; N <sub>2</sub> – 48,3%	2,72	166	4500	1300
Деревинно-вугільні брикети	CO <sub>2</sub> – 5,75%; O <sub>2</sub> – 0,2% CO – 27,1%; H <sub>2</sub> – 12,9% CH <sub>4</sub> – 3,35%; N <sub>2</sub> – 50,7%	3,9	115,8	7000	1440
Торф'яний кокс	CO <sub>2</sub> – 1,7%; O <sub>2</sub> – 0,5% CO – 33,6%; H <sub>2</sub> – 15,4% CH <sub>4</sub> – 1,8%; N <sub>2</sub> – 48,5%	2,89	156,3	5100	1500
Антрацит	CO <sub>2</sub> – 3,9-5,6% O <sub>2</sub> – 0,1-0,3% CO – 24-30% H <sub>2</sub> – 11-16% CH <sub>4</sub> – 0,4-2,0% N <sub>2</sub> – 54%	4,59	98,4	8000	1365

В якості прикладу визначення виходу повітряного генераторного газу з 1 кг сировини наведемо алгоритм його розрахунків для пелет. Тоді згідно з формулою (3) маємо:

$$V_{1кг} = \frac{22,4 \text{ л/моль} \cdot (50 - 1,5)}{12 \text{ г/моль} (22 + 11 + 4)} = 2,44 \text{ л/г} = 2,44 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

б) Витрати повітряного генераторного газу, які необхідні для забезпечення безперервної роботи двигуна автомобіля ЗиЛ-130 протягом 1 години, розраховуються за наступними формулами [9]:

$$V_z = F \cdot S \cdot i \cdot \eta_v \cdot \frac{n}{2} \cdot \frac{1}{(1 + \alpha \cdot L_0)} \cdot 60. \quad (4)$$

Формула (4) дозволяє обчислити  $V_z$  для чотиритактного двигуна. Підставивши в цю формулу замість добутку ( $F \cdot s \cdot i$ ) величину сумарного робочого об'єму двигуна ЗиЛ-130 у літрах,  $V_n$ , отримуємо [6, 8, 9]:

$$V_z = \frac{0,03 \cdot V_n \cdot n}{(1 + \alpha \cdot L_0)} \cdot \eta_v, \text{ м}^3/\text{год}. \quad (5)$$

У формулах (4) та (5) прийняті наступні умовні позначення:  $V_z$  – витрати повітряного газу, необхідні для забезпечення безперервної роботи двигуна автомобіля ЗиЛ-130 протягом 1 години (продуктивність газогенератора);  $F$  – площа поршня;  $S$  – хід поршня;  $i$  – число циліндрів;  $\eta_v$  – ко-

ефіцієнт наповнення циліндрів двигуна, приймається рівним 0,85 згідно з [6, 9];  $n$  – число обертів колінчастого валу двигуна за хвилину (згідно таблиці 3 дорівнює 3200 об/хв);  $\alpha$  – коефіцієнт надлишку повітря при спалюванні генераторного газу, згідно з рекомендаціями робіт [6, 9] прийнятий рівним 1,2;  $L_o$  – кількість повітря, яка необхідна для спалювання 1 м<sup>3</sup> генераторного газу, на основі робіт [6, 9] приймається рівною 1,083 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>; 0,03 та 60 – числові коефіцієнти, які приводять у відповідність розмірність величин, що використовуються.

Слід відмітити, що в залежності (4) число обертів колінчастого валу ділиться на 2. Це пов'язано з тим, що один повний оберт колінчастого валу здійснюється за два ходи поршня.

Підставляючи у формулу (5) числові значення величин і виконуючи розрахунки, отримуємо:

$$V_2 = \frac{0,03 \cdot 6 \cdot 3200 \text{ об/хв}}{\left(1 + 1,2 \cdot 1,083 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}\right)} \cdot 0,85 = 213 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Для приведення отриманого значення об'єму повітряного генераторного газу до нормальних умов (температура 0°C, тиск 760 мм рт.ст.) помножимо обчислене значення на коефіцієнт  $k$ , який згідно роботи [6] становить 0,92. Тоді маємо:

$$V_2^{н.у.} = 213 \text{ м}^3/\text{год} \cdot 0,92 = 196 \text{ м}^3/\text{год.}$$

в) Річні витрати різних видів сировини на річний виробіток (споживання) генераторного газу. Обчислюються з використанням даних таблиці 4 та зроблених припущень:

$$V_{\text{сир.}}^{\text{річ.}} = \frac{V_2^{н.у.}}{V_{1\text{кг}}} \cdot 8 \frac{\text{год}}{\text{добу}} \cdot 24 \frac{\text{діб}}{\text{міс}} \cdot 12 \frac{\text{міс}}{\text{рік}}, \quad (6)$$

де  $V_{\text{сир.}}^{\text{річ.}}$  – річні витрати сировини;  $V_2^{н.у.}$  – об'єм повітряного генераторного газу при нормальних умовах, який необхідний для роботи двигуна ЗиЛ-130 протягом 1 години роботи. Величина стала для всіх видів сировини;  $V_{1\text{кг}}$  – вихід сухого повітряного генераторного газу з 1 кг сировини. Підставляючи у формулу (6) числові значення величин, отримуємо річні витрати різних видів сировини, які наведені у таблиці 4.

В якості прикладу визначення річних витрат сировини наведено алгоритм їх розрахунків для пелет. Тоді згідно з формулою (6) маємо:

$$V_{\text{сир.}}^{\text{річ.}} = \frac{196 \text{ м}^3/\text{год}}{2,44 \text{ м}^3/\text{кг}} \cdot 8 \frac{\text{год}}{\text{добу}} \cdot 24 \frac{\text{діб}}{\text{міс}} \cdot 12 \frac{\text{міс}}{\text{рік}} = 185\,075 \text{ кг/рік.}$$

г) Річне споживання повітряного газу, що необхідне для роботи двигуна автомобіля ЗиЛ-130:

$$V_2^{\text{річ.}} = V_2^{н.у.} \cdot 8 \frac{\text{год}}{\text{добу}} \cdot 24 \frac{\text{діб}}{\text{міс}} \cdot 12 \frac{\text{міс}}{\text{рік}}. \quad (7)$$

Підставляючи у формулу (7) числове значення  $V_2^{н.у.}$ , отримаємо:

$$V_2^{\text{річ.}} = 196 \text{ м}^3/\text{год} \cdot 8 \frac{\text{год}}{\text{добу}} \cdot 24 \frac{\text{діб}}{\text{міс}} \cdot 12 \frac{\text{міс}}{\text{рік}} = 451\,584 \text{ м}^3/\text{рік.}$$

Слід підкреслити наступне: як годинні, так і річні витрати повітряного генераторного газу, що необхідні для забезпечення безперервної роботи двигуна внутрішнього згорання, не залежить від виду сировини, з якої отримується генераторний газ, а визначаються конструкцією і типом двигуна. В розглянутому випадку для двигуна вантажного автомобіля ЗиЛ-130 вони становлять 196 м<sup>3</sup>/год або 451 584 м<sup>3</sup>/рік.

## 2. Оцінка капітальних витрат.

Виконується методом питомих капітальних витрат. На жаль, у відомій авторам літературі майже відсутні дані, за якими можна оцінити питомі капітальні витрати, необхідні для створення та монтажу на вантажному автомобілі газогенераторної установки. Наявні лише дані відносно одного автомобільного газогенератора УГК-150, які наведені в таблиці 1. Використовуючи ці дані, оцінено питомі капітальні витрати за формулою:

$$K_{\text{нум}} = \frac{K^{\text{УГК-150}}}{V_2}, \quad (8)$$

де  $K_{\text{нум}}$  – питомі капітальні витрати;  $K^{\text{УГК-150}}$  – вартість створення та монтажу газогенератора;  $V_2$  – вихід генераторного газу з 1 кг сировини. Сировиною є дерев'яні чурки (див. табл. 1). Підставляючи у формулу (8) числові значення величин, отримуємо:

$$K_{\text{нум}} = \frac{10000 \text{ EUR}}{150 \text{ м}^3/\text{год}} = \frac{105300 \text{ грн.}}{150 \text{ м}^3/\text{год}} = 702 \frac{\text{грн.}}{\text{м}^3/\text{год}}.$$

Таблиця 5. Експлуатаційні витрати, необхідні для роботи даного газогенератора на різних видах сировини

Назва сировини	Вартість 1 т сировини, грн.	Вартість сировини, що витрачається для роботи газогенератора, грн./рік	Інші витрати (податки, накладні, охорона, транспортування, оренда складів, поточний ремонт), 7% капітальних витрат, грн./рік	Амортизація, прийнята рівною 6,6% від капіталовкладень, грн./рік	Всього експлуатаційних витрат, грн./рік
Пелети	1000	185 000	9 631	9 081	203 712
Тріски	300	45 780	9 631	9 081	64 492
Деревне вугілля	2500	285 000	9 631	9 081	303 712
Деревинні чурки	250	35 625	9 631	9 081	54 337
Буре вугілля	1200	156 600	9 631	9 081	175 312
Малозольний торф	1200	199 200	9 631	9 081	217 912
Деревинно-вугільні брикети	1300	150 540	9 631	9 081	169 252
Торф'яний кокс	1400	218 820	9 631	9 081	237 532
Антрацит	1600	157 440	9 631	9 081	176 152

Враховуючи те, що даний газогенератор має продуктивність 196 м<sup>3</sup>/год (див. розрахунки за формулою (5)), на основі отриманих питомих капітальних витрат маємо його вартість (капітальні витрати):

$$K = 702 \frac{\text{грн.}}{\text{м}^3/\text{год}} \cdot 196 \text{ м}^3/\text{год} = 137592 \text{ грн.}$$

### 3. Визначення експлуатаційних витрат.

Експлуатаційні витрати визначаються за загальноприйнятою методикою [13, 14]:

$$E = B^{cup} + I + A, \quad (9)$$

де  $E$  – річні експлуатаційні витрати;  $B^{cup}$  – вартість сировини;  $A$  – амортизація;  $I$  – інші витрати.

Результати визначення експлуатаційних витрат наведені у таблиці 5.

В якості прикладу визначення експлуатаційних витрат наведено алгоритм їх розрахунків для газогенератора, що працює на пелетах:

- Вартість сировини, що витрачається за

рік. Визначається на основі даних таблиць 4 та 5.

$$B^{cup} = 185 \text{ т/рік} \cdot 1000 \text{ грн./т} = 5000 \text{ грн./рік.}$$

- Інші витрати. Приймаються рівними 7% від капітальних витрат:

$$I = 137592 \text{ грн.} \cdot 0,07 = 9631 \text{ грн./рік.}$$

- Амортизація. Вважається, що даний газогенератор працює 15 років, тобто амортизація складає 6,6%.

$$A = 137592 \text{ грн.} \cdot 0,066 = 9081 \text{ грн./рік.}$$

Тоді експлуатаційні витрати становитимуть:

$$E = 185000 \text{ грн./рік} + 9631 \text{ грн./рік} + 9081 \text{ грн./рік} = 203712 \text{ грн./рік.}$$

### 4. Обчислення техніко-економічних показників.

Обчислимо техніко-економічні показники даного газогенератора, що працює на різних видах сировини. Результати обчислення цих показників наведені в таблиці 6.



Таблиця 6. Техніко-економічні показники газогенератора

Назва сировини	Собівартість виробництва 1 м <sup>3</sup> повітряного генераторного газу, грн./м <sup>3</sup>	Термін окупності газогенератора, роки (місяці)	Коефіцієнт корисної дії газогенератора
Пелети	0,451	0,24 (3)	0,87
Тріски	0,143	0,24 (3)	0,98
Деревне вугілля	0,673	0,24 (3)	0,93
Деревинні чурки	0,120	0,24 (3)	0,97
Буре вугілля	0,388	0,24 (3)	0,97
Малозольний торф	0,483	0,24 (3)	0,79
Деревинно-вугільні брикети	0,375	0,24 (3)	0,80
Торф'яний кокс	0,526	0,24 (3)	0,85
Антрацит	0,390	0,24 (3)	0,78

В якості прикладу обчислення техніко-економічних показників повітряного газогенератора наведено алгоритм їх обчислення для газогенератора, що працює на пелетах.

- Собівартість виробництва 1 м<sup>3</sup> повітряного генераторного газу. Визначається на основі відомостей таблиці 5 та вище отриманої величини річного споживання генераторного газу, за формулою:

$$C = \frac{E}{V_2^{pich}} \quad (10)$$

Підставляючи у формулу (10) числові значення величин, маємо:

$$C = \frac{203712 \text{ грн./рік}}{451584 \text{ м}^3/\text{рік}} = 0,451 \text{ грн./м}^3$$

- Термін окупності. Термін окупності газогенераторної установки обчислюється за умов, що генераторним газом від цієї установки заміщується таке традиційне паливо, як бензин. При розрахунку терміну окупності приймемо: 1) Ціна на генераторний газ, як і на всі інші моторні палива, складається із собівартості та відповідних податків у розмірі 35%. Зазначений розмір податків є сумою податку на додану вартість, акцизу і транспортного податку. 2) Рентабельність виробництва та експлуатації установки, що розглядається, складає 5%.

Тоді відпускну ціну за 1 м<sup>3</sup> газогенераторного газу можна розрахувати за формулою:

$$Ц = C \cdot [1 + (0,35 + 0,05)] \quad (11)$$

Підставляючи у формулу (11) числові значення величин, отримуємо:

$$Ц = 0,451 \text{ грн./м}^3 [1 + (0,35 + 0,05)] = 0,631 \text{ грн./м}^3$$

На основі теплотворної здатності генераторного газу та відпускної ціни за 1 м<sup>3</sup> розрахуємо кількість теплоти, що отримується при спалюванні генераторного газу, та її вартість. Для цього використаємо наступні формули:

- Кількість теплоти, що отримується при спалюванні генераторного газу:

$$Q = Q_{n,газу}^p \cdot V_2^{pich} \quad (12)$$

де  $Q_{n,газу}^p$  – нижча теплота згоряння повітряного генераторного газу (згідно таблиці 4).

Підставляючи у формулу (12) числові значення величин, маємо:

$$Q = 1600 \text{ ккал/м}^3 \cdot 451584 \text{ м}^3/\text{рік} = 722534000 \text{ ккал/рік}$$

- Вартість теплоти, що отримується з генераторного газу, розраховується за формулою:

$$B_{газ}^{мен} = Ц \cdot V_2^{pich} \quad (13)$$

де  $Ц$  – ціна за 1 м<sup>3</sup> генераторного газу;  $V_2^{pich}$  – річний виробіток (споживання) генераторного газу.

Тоді згідно (13) маємо:

$$B_{газ}^{мен} = 0,631 \text{ грн./м}^3 \cdot 451584 \text{ м}^3/\text{рік} = 284949 \text{ грн./рік}$$

Далі розрахуємо кількість та вартість бензину, який потрібен для виробництва обчисленої за формулою (12) теплоти. При цьому приймемо, що відпускна ціна за 1 літр бензину марки А-80 становить 10 грн. 32 коп., а теплота згоряння бензину – 10500 ккал/кг.

- Кількість бензину:

$$V_{бензину}^{рiч.} = \frac{Q}{Q_{н.бенз}^p} = \frac{722534000 \text{ ккал/рiк}}{10500 \text{ ккал/кг}} = 68813 \text{ кг/рiк.}$$

Приймаючи, що 1 кг бензину має об'єм 1,4 л або 1,4 дм<sup>3</sup>, завершуючи, маємо:

$$V_{бензину}^{рiч.} = 68813 \text{ кг/рiк} \cdot 1,4 \text{ л/кг} = 96338 \text{ л.}$$

- Вартість бензину:

$$B_{бензину} = 96338 \text{ л} \cdot 10,32 \text{ грн.} = 994208 \text{ грн.}$$

Маючи дані наведених розрахунків, обчислюється виробничий та чистий прибуток і термін окупності газогенераторної установки, що працює на пелетах.

- Виробничий прибуток:

$$P^{вироб} = B_{бенз} - B_{газ}^{мен} = 994208 \text{ грн.} - 284949 \text{ грн.} = 709259 \text{ грн.}$$

- Чистий прибуток. Розраховується за умов, що податок на прибуток становить  $n = 20\%$ .

$$P^{чистий} = P^{вироб} - P^{вироб} \cdot n = 709259 \text{ грн.} - 709259 \text{ грн.} \cdot 0,2 = 567407 \text{ грн.}$$

- Термін окупності:

$$T = \frac{K}{P^{чистий}} = \frac{137592 \text{ грн.}}{567407 \text{ грн./рiк}} = 0,24 \text{ або } 3 \text{ місяці.}$$

- Коефіцієнт корисної дії газогенератора.

Коефіцієнт корисної дії газогенератора є відношенням кількості теплоти, яка є в генераторному газі, до кількості теплоти в сировині, з якої цей генераторний газ отримується. Вказаний коефіцієнт розраховується за наступною відомою формулою [6, 9]:

$$\eta_z = \frac{V_{1кг} \cdot Q_{н.газу}^p}{Q_{н.сиров}^p}, \quad (14)$$

де  $\eta_z$  – коефіцієнт корисної дії газогенератора;  $Q_{н.газу}^p$  – нижча теплотворна здатність генераторного газу;  $Q_{н.сиров}^p$  – нижча теплотворна здатність сировини, з якої отримується генераторний газ;  $V_{1кг}$  – вихід генераторного газу з 1 кг сировини.

В таблиці 6 наведено результати розрахунків коефіцієнта корисної дії даного газогенератора, що працює на різних видах сировини. В якості

прикладу обчислення коефіцієнта корисної дії газогенератора наведено алгоритм обчислення цього коефіцієнта для газогенератора, що працює на пелетах. Тоді, згідно з формулою (14) та даними таблиці 4, отримуємо:

$$\eta_z = \frac{2,44 \frac{м^3}{кг} \cdot 1600 \frac{ккал}{м^3}}{4500 \frac{ккал}{кг}} = 0,87.$$

**Висновки.** 1. Співставлення технічних характеристик деяких існуючих газогенераторів показало, що з технічної точки зору подальше впровадження цього джерела енергії є перспективним і потребує додаткових досліджень з метою удосконалення конструкції газогенераторів та підвищення експлуатаційної якості повітряного генераторного газу, який виробляється.

2. Показано, що річні витрати сировини, яка забезпечує генераторним газом вантажний автомобіль із заданими технічними характеристиками двигуна, змінюються в залежності від виду сировини з 98,4 т/рік до 185 т/рік, тобто в 1,88 разів.

3. Встановлено, що річні витрати генераторного газу, необхідні для забезпечення безперервної роботи двигуна внутрішнього згорання, не залежать від виду сировини, з якої отримується генераторний газ, а визначаються конструкцією і типом двигуна.

4. Доведено економічну доцільність технології виробництва та застосування генераторного газу в якості моторного палива для транспортних засобів. У порівнянні з традиційним моторним паливом (бензином) генераторний газ має дуже низьку вартість, яка в залежності від виду сировини менша від вартості бензину в 15-20 разів. Окрім того, термін окупності самого газогенератора становить біля 3 місяців, тобто його встановлення та експлуатація не впливають на економічну ефективність використання транспортного засобу.

5. Визначено, що коефіцієнт корисної дії газогенератора заданої продуктивності залежить від виду сировини і змінюється з 0,78 до 0,98, тобто майже в 1,26 разів.

6. Результати виконаних досліджень показали доцільність проведення подальших науково-технічних розробок газогенераторів, які можливо

застосовувати в якості джерел живлення автомобільного транспорту.

1. Газогенератор УГК-150 на дровах: [Електронний ресурс] // Фирма "Наша Энергия", 2005-2010. URL: <http://www.gazogenerator.ru> (Дата звернення: 18.02.2013).
2. The GEK project: [Електронний ресурс] // ALL Power Labs, 2002-2013. URL: <http://www.gekgasifier.com/> (Дата звернення: 18.02.2013).
3. Victory grid CHP gasifier: [Електронний ресурс] // Victory gasworks, 2007-2012. URL: <http://gasifier.wpengine.com/personal-energy-grid> (Дата звернення: 18.02.2013).
4. Автомобиль на дровах: [Електронний ресурс] // Автомобильный завод "Урал", 1997-2012. URL: <http://www.uralaz.ru/company.php?id=60> (Дата звернення: 18.02.2013).
5. Кураев А.В., Семенов П.Л. Автомобиль ЗиЛ – 130 и его модификации: Инстр. по эксплуат. – М.: Машиностроение, 1974. – 148с.
6. Токарев Г.Т. Газогенераторные автомобили. – М.: Изд. Мин. ком-хоз. РСФСР, 1948. – 160 с.

7. Юдушкин Н.Г. Газогенераторные трактора / Н.Г. Юдушкин. – М.: Машгиз, 1955. – 244 с.
8. Мезин И.С. Транспортные газогенераторы / И.С. Мезин – М.: Сельхозгиз, 1948. – 311 с.
9. Черномордик Б.М. Теория и расчет транспортных газогенераторов / Б.М. Черномордик. – М.: Свердловск, ГНТИ НКТП СССР, 1943. – 176 с.
10. Кюнэ Г., Кох Ф. Испытания автомобильных газогенераторов / Г. Кюнэ, Ф. Кох; пер. с нем. П. П. Москвина; ред. М. Д. Артамонова. – М.: Гострансехиздат, 1938. – 84 с.
11. Коллеров Л.К. Газомоторные установки / Л.К. Коллеров – М.: Машгиз, 1951. – 240 с.
12. Энергетичні палива: Навч. посіб. / В.М. Горбов; Укр. держ. мор. техн. ун-т ім. адмірала Макарова. – Миколаїв, 2003. – 328 с.
13. Забарний Г.М., Кудря С.О., Кондратюк Т.Г., Четверик Г.О. Термодинамічна ефективність та ресурси рідкого біопалива України. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2006. – 226 с.
14. Кудря С.О., Тучинський Б.Г., Щокін А.Р. Перспективи зміщення традиційних паливно-енергетичних ресурсів за рахунок використання енергії, виробленої на об'єктах альтернативної енергетики // Энергосбережение. – 2007. – № 1. – С. 14-23.

УДК 66.098:546.11

Є.В.Кузьмінський, докт.хім.наук, К.О.Щурська, І.А.Самаруха (Національний технічний університет України "КПІ", Київ)

## Паливні елементи. II. Передбачувані області застосування, біотехнологічні перспективи

*В огляді розглянуто сучасний стан, області застосування, наявні проблеми та визначено біотехнологічні перспективи розвитку паливних і біопаливних елементів.*

*В обзоре рассмотрены современное состояние, области применения, имеющиеся проблемы и определены биотехнологические перспективы развития топливных и биотопливных элементов.*

Як уже відзначалось у першій частині огляду [1], паливний елемент (ПЕ), як і будь-який рукотворний пристрій, не є досконалим, але він має певні переваги, які роблять подальше інтегрування ПЕ в різноманітні сфери застосування вельми привабливим. Серед основних переваг можна виділити найбільш суттєві. У ПЕ немає жорсткого обмеження на коефіцієнт корисної дії (ККД), як у теплових машин (ККД циклу Карно є максимально можливим ККД серед усіх теплових машин з

такими ж мінімальними і максимальними температурами). Високий ККД досягається завдяки прямому перетворенню енергії палива в електроенергію. Тоді як у дизель-генераторних установках паливо спочатку спалюється, отриманий газ або пара обертає турбіну або вал двигуна внутрішнього згорання, які в свою чергу обертають електричний генератор. Результатом стає ККД максимум в 42%, частіше ж становить 35-38%. В існуючих ПЕ максимальний ККД становить