

Д.С. Довженко, аспірант (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, м. Київ)

# Типова схема комплектації автомобілів газогенераторною установкою

*Розроблена схема мобільної газогенераторної установки вантажного автомобіля. Визначені технологічні параметри і дано розрахунки економічної ефективності її створення.*

**Ключові слова:** газифікація, генераторний газ, типова схема, автомобільна газогенераторна установка.

*Разработана схема мобильной газогенераторной установки грузового автомобиля. Определены технологические параметры и даны расчеты экономической эффективности ее создания.*

**Ключевые слова:** газификация, генераторный газ, типовая схема, автомобильная газогенераторная установка.

*The chart of the mobile gas-producing setting of truck is worked out. The technological are certain parameter and the calculations of economic efficiency of her creation are given.*

**Keywords:** gasification, generator gas, model chart, motor-car gas-producing setting.

Наразі у світі спостерігається тенденція до подорожчання нафтопродуктів та інших викопних енергоносіїв. Це насамперед пов'язано зі зменшенням запасів нафтових палив та труднощами розробки нових родовищ. Екологічна ситуація та обмеження викидів парникових газів змушують переходити на інші види палива: більш доступні, дешеві та екологічні.

У світі цих подій логічно звернути увагу на давно винайдену, але забуту технологію газифікації біомаси і отримання з неї горючого газу.

Відмінність газифікації біомаси від простого спалювання полягає в тому, що при газифікації в результаті процесу горіння ми отримуємо горючий газ. Зараз технологія газифікації застосовується в 25 країнах світу (рис. 1). В Україні розпочата робота по будівництву 5 газогенераторних установок по газифікації вугілля. Це здешевлює виробництво енергії та поліпшує загальну екологічну ситуацію, оскільки газогенераторна установка на біомасі не викидає шкідливих речовин у атмосферу.

Метою даної роботи є розроблення схеми мобільної газогенераторної установки (МГУ) вантажного автомобіля, розрахунок технологічних параметрів та дослідження економічної ефективності її створення.

МГУ на біомасі є одним із варіантів вирішення проблеми експлуатації автомобілів на альтернативному екологічному пальному. Доцільно її використовувати у місцевості, яка добре забезпечена відходами деревини або на підприємствах, які займаються деревообробкою чи заготівлею деревини.

Найпростіше обладнати газогенераторною установкою вантажні автомобілі через наявність простору для її встановлення та внаслідок конструктивних особливостей цієї установки.

Розробка типової схеми комплектації автомобіля газогенераторною установкою потребує розгляду великої кількості складових, які необхідні для якісного та надійного функціонування всієї системи [1].



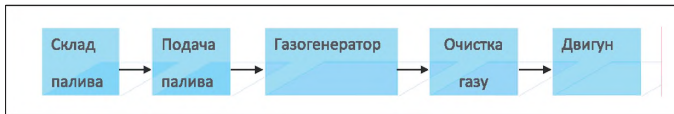
**Рис. 1. Географія використання технології газифікації**

Розглянемо технологію виробництва генераторного газу для живлення вантажного автомобіля (рис. 2).

Спочатку розрахуємо вихід газу з 1 кг робочого палива, при цьому приймемо наступний хімічний склад деревини (% масових):

W <sup>P</sup>	A <sup>C</sup>	C <sup>P</sup>	H <sup>P</sup>	O <sup>P</sup>	N <sup>P</sup>
20	1,0	50	6,0	23	1,0

де W<sup>P</sup> – відносна вологість робочого палива; A<sup>C</sup> – зольність сухої маси палива;



**Рис. 2. Схема технології виробництва генераторного газу для живлення вантажного автомобіля**

вміст складових у робочому паливі:

$C^P$  – вуглецю,  $H^P$  – водню,  $O^P$  – кисню,  $N^P$  – азоту

Середній склад генераторного газу (% об'ємних):

$CO_2$	$O_2$	$CO$	$H_2$	$CH_4$	$N_2$
9,2	1,6	20,9	16,1	2,5	49,7

$$V_g = \frac{1,867 \cdot (C^P - C_n)}{CO + CO_2 + CH_4} = \frac{1,867 \cdot (0,50 - 0,015)}{9,2 + 20,9 + 2,5} = 2,2 \text{ м}^3/\text{кг}, (1)$$

де 1,867 – об'єм 1 кг моля газу в метрах кубічних при  $0^\circ\text{C}$  і 760 мм. рт. ст;  $C^P$  – вміст вуглецю в сухій масі палива (0,50);  $C_n$  – втрати вуглецю разом з попелом (0,015);  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$  – відсотковий вміст за об'ємом основних складових генераторного газу, (9,2; 20,6; 2,5 % відповідно).

Отже з 1 кг тріски отримуємо 2,2 м<sup>3</sup> газу, що забезпечує 1 км пробігу автомобіля і коштує 0,25 грн.

Для прикладу розглянемо вантажний бортовий автомобіль ЗиЛ-130 вантажопідйомністю 6 т. Визначимо показники роботи двигуна внутрішнього згорання, який працює на генераторному газі, для цього скористаємося результатами робіт [2,3,5]. Один з таких показників – це кількість газоповітряної суміші, яку засмоктує двигун за годину роботи  $V_{cm}$ , він визначається за формулою:

$$V_{cm} = 0,03 \cdot V_h \cdot n \cdot \eta_v = 403,21 \text{ м}^3/\text{год} (2)$$

де  $V_h$  – робочий об'єм циліндрів, 6 л;  $n$  – число обертів колінчастого вала двигуна за хвилину, 3200 об/хв;  $\eta_v$  – коефіцієнт наповнення циліндрів двигуна, 1,25.

На основі формули (2) розраховуємо витрату газу:

$$V_2 = 0,03 \cdot K / (1 + \alpha \cdot L_0) \cdot V_h \cdot n \cdot \eta_v = 173,14 \text{ м}^3/\text{год}, (3)$$

де  $K$  – коефіцієнт приведення температури та тиску генераторного газу перед робочим процесом,  $K=92$ ;  $L_0$  – теоретична витрата повітря в м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> газу.

Знаючи вихід газу з 1 кг палива  $V_g$  можна визначити годинну витрату палива;

$$G_t = \frac{V_2}{V_g} = \frac{173,14 \text{ м}^3/\text{год}}{2,2 \text{ м}^3/\text{кг}} = 78,7 \text{ кг}/\text{год} (4)$$

де  $V_2$  – продуктивність газогенератора, м<sup>3</sup>/год.

Середній добовий пробіг вантажного автомобіля складає 300 км, тому для безперервного функціонування йому потрібно 300 кг твердого палива (у нашому випадку тріски) на день. Виходячи з цих розрахунків доцільно орендувати склад, який би вмістив 7,2 т тріски (300 кг\*24 дн. = 7 200 кг).

При вартості 1 т тріски в 250 грн/т визначимо вартість палива на місяць:

$$7,2 \text{ т} * 250 \text{ грн}/\text{т} = 1 800 \text{ грн.}$$

Розглядаючи питання доцільності створення великої газогенераторної установки з одноразовим заван-

таженням тріскою на 200 км запасу ходу, виникають наступні зауваження. По-перше, збільшиться металоємність конструкції газогенераторної установки, а отже і її вага в цілому. Це приведе до зменшення вантажопідйомності автомобіля та підвищить вартість газогенераторної установки. Така конструкція також недоречна при експлуатації автомобіля на коротких дистанціях. По-друге, при великій кількості твердого палива у бункері газогенератора можливе погіршення просування палива до зони газифікації, що зробить неможливим повноцінну газифікацію. Тому оптимальною конструкцією газогенераторної установки є конструкція з об'ємом бункера для палива у 100 кг.

Сама газогенераторна автомобільна установка, як правило, складається з наступних конструктивних елементів: газогенератора, грубого очисника типу «циклон», трубчастого охолоджувача, тонкого очисника та змішувача для подачі газу в карбюратор [9]. Принципову схему типової автомобільної газогенераторної установки зображено на рис. 3.

Вага газогенераторної автомобільної установки складає приблизно 300 кг [9]. Враховуючи вагу завантаженого палива та вагу додаткового палива отримуємо загальну масу у 500 кг. Тобто вантажопідйомність вантажівки ЗиЛ-130 складе 5500 кг замість заводських 6000 кг, тобто зменшиться на 10%.

Вирахуємо площу, яку займе газогенераторна установка.

$$F = F_g + F_{z.o.} + F_{p.o.} + F_{m.o.} = 0,2 \text{ м}^2 + 0,11 \text{ м}^2 + 0,15 \text{ м}^2 + 0,2 \text{ м}^2 = 0,7 \text{ м}^2, (5)$$

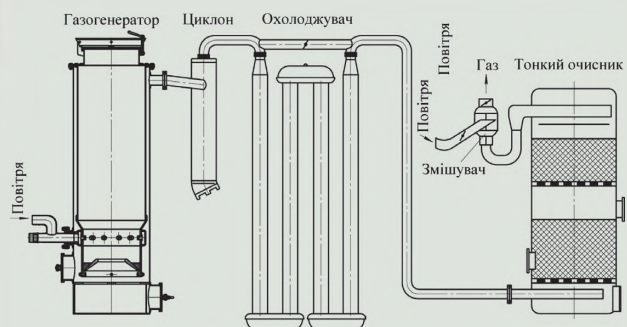
де:  $F_g$  – площа газогенератора;  $F_{z.o.}$  – площа грубого очисника «циклон»;  $F_{p.o.}$  – площа радіаторного охолоджувача;  $F_{m.o.}$  – площа тонкого очисника.

Враховуючи запас, площа, що необхідна для установки газогенераторної установки, складе 1 м<sup>2</sup>.

Приклад встановлення газогенераторної установки на вантажний автомобіль ЗиЛ-130 зображено на рис. 4.

Газогенератор на рис 4. має наступні характеристики: розмір (ВхШ): 1700 на 500 мм; об'єм бункера для палива 0,2 м<sup>3</sup>; продуктивність: 220 м<sup>3</sup> газу.

Автомобільний газогенератор забезпечує стабільну роботу двигуна через 20 хвилин після запуску. Розпал газогенератора відбувається наступним чином: спочатку засипається сухе паливо (пелети, тріска) у бункер газогенераторної установки. Після цього здійснюється підпал палива у газогенераторі. Завдяки вентилятору розпалу, який нагнітає повітря у камеру газифікації,



**Рис. 3. Принципова технологічна схема автомобільної газогенераторної установки**

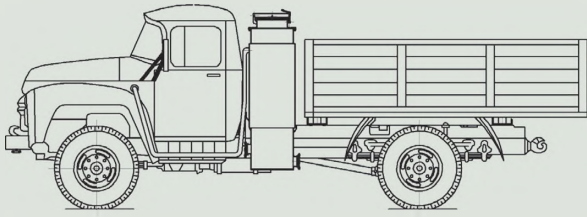


Рис. 4. Приклад встановлення газогенераторної установки

паливо розгоряється дуже швидко. На початку розпаду утворюються димові гази, які необхідно випускати в атмосферу для того, щоб не засмічувати початковими продуктами горіння циліндри двигуна. Після 15 хв. горіння робочої суміші випускний клапан з газогенератора перекривається і газ починає поступати у циліндри двигуна. При увімкненні двигуна генераторний газ попадає у циліндри внаслідок створеного в них розрідження, і двигун запуститься.

Продукти сухої перегонки палива забираються з верхньої частини газогенератора і спалюються в камері газифікації, тому газ, що виходить з газогенератора, містить мало смол, і очищувати його потрібно лише від часточок золи і частково від смол. Саме тому система очистки генераторного газу складається з двох модулів: грубого очисника «циклон» та тонкого очисника.

Для техніко-економічної оцінки ефективності впровадження газогенераторної установки визначимо затрати на виготовлення конструкцій, термін окупності, річний економічний ефект та розрахуємо основні економічні показники.

Визначимо капітальні витрати на виготовлення газогенераторної установки за формулою:

$$K_{гв} = C_n + H = 9364 \text{ грн} + 655,48 \text{ грн} = 10019,48 \text{ грн}, \quad (6)$$

де  $C_n$  – прямі витрати на виготовлення, грн.;  $H$  – непередбачувані витрати, грн.

Прямі витрати  $C_n$  визначимо за формулою:

$$C_n = Z_{пр} + C_{сум} + B_m + B_{зч} = 1496 \text{ грн} + 558 \text{ грн} + 3810 \text{ грн} + 3500 \text{ грн} = 9364 \text{ грн}, \quad (7)$$

де  $Z_{пр}$  – заробітна плата виробничих працівників, грн.;  $C_{сум}$  – сумарні відрахування (в фонд соціального страхування, в пенсійний та фонд страхування від нещасних випадків), грн.;  $B_m$  – вартість матеріалів на виготовлення установки, грн.;  $B_{зч}$  – вартість стандартних та запасних частин, грн.

Заробітну плату виробничих працівників визначимо за формулою:

$$Z_{пр} = \frac{T_n \cdot T_c}{60} = \frac{11970 \text{ хв} \cdot 7,50 \text{ грн}}{60} = 1496 \text{ грн}, \quad (8)$$

де  $T_n$  – технічна норма часу на технологічну операцію, хв.;  $T_c$  – тарифна ставка, грн./год.

Сумарна норма часу на виготовлення газогенераторної установки у відповідних умовах складає  $\approx 11970$  хв. Усереднена тарифна ставка працівників, що виконують ці роботи становить 7,50 грн/год. Розраховавши формулу (8) визначимо заробітну плату виробничих працівників  $Z_{пр}$ , вона становитиме 1496 грн. Сумарні відрахування (в фонд соціального

страхування, пенсійний фонд та службу зайнятості) становлять 37,3% від суми заробітної плати виробничих працівників та розраховується за формулою:

$$C_{сум} = \frac{Z_{пр} \cdot P}{100} = \frac{1496 \text{ грн} \cdot 37,3}{100} = 558 \text{ грн}, \quad (9)$$

де  $P$  – сумарний відсоток відрахувань,  $P=37,3\%$ .

У нашому випадку  $C_{сум}$  становитимуть 558 грн. Вартість матеріалів, які необхідні на виготовлення газогенераторної установки вказані у табл. 2.

Таблиця 1. Капітальні витрати в грн., що необхідні для створення мобільної газогенераторної установки

Перелік показників	Величина
Вартість матеріалів на виготовлення газогенераторної установки	3810
Вартість стандартних та запасних частин	3500
Вартість монтажних робіт (заробітна плата + сумарні відрахування)	2054
Непередбачувані витрати (7% від капітальних витрат)	655,48
Всього:	10 019,48

Визначаємо прямі витрати на виготовлення газогенераторної установки, вони складуть 3810 грн. Вартість стандартних та запасних частин  $B_{зч}$  беремо у розмірі 3500 грн.

Непередбачувані витрати визначаються у відсотковому відношенні від суми прямих витрат, їх можна розрахувати за формулою:

$$H = C_n \cdot 7\% = 9364 \text{ грн} \cdot 0,07 = 655,48 \text{ грн}, \quad (10)$$

Непрямі витрати в нашому випадку складуть 655,48 грн.

Розрахуємо амортизацію газогенераторної установки терміном на 15 років:

$$A = K_{гв} \cdot 6,6\% = 10019,48 \text{ грн} \cdot 0,066 = 661,28 \text{ грн} / \text{рік} \quad (11)$$

Визначимо витрати коштів на тріску на рік роботи автомобіля:

За день автомобіль в середньому має пробіг 300 км, враховуючи що 100 км коштують 24,2 грн, то 300 км будуть коштувати 72,6 грн.

$365 \text{ днів} \cdot 72,6 \text{ грн/день} = 26 499 \text{ грн/рік}$  (109 500 км пробігу).

Для зберігання палива необхідний склад. Для місячного запасу тріски необхідно приблизно 100 м<sup>2</sup> площі. В середньому склад на 40 м<sup>2</sup> буде коштувати 4 000 грн. на місяць.

Визначимо собівартість пробігу 1 км на генераторному газі:

$$C_{п} = \frac{B_{експ}}{n} = \frac{91720,28 \text{ грн}}{109500 \text{ км}} = 0,83 \text{ грн/км} \quad (12)$$

де  $n$  – річний пробіг автомобіля, км;  $n=365 \text{ днів} \cdot 300 \text{ км/день} = 109 500 \text{ км}$ .

Витрата бензину ЗиЛ-130 складає 30л/100 км, вартість 1л бензину марки А-80 становить 10,42 грн. Тоді,  $30 \text{ л} \cdot 10,42 \text{ грн/л} = 312,6 \text{ грн/100 км}$ , (3,12 грн/км).

Таблиця 2. Дані вартості матеріалів

Назва матеріалу (групи деталей)	Маса, кг/кількість, шт.	Вартість 1 кг (1шт.), грн./кг (грн./шт.)	Загальна вартість, грн.
Сталь листовая, заготовки (Ст3, Ст5, Сталь 45)	155,0	20,50	3200
Радіатор	1	250	250
Електроventильатор	1	180	180
Ушпільнюючий матеріал	1,20	25	30
Стандартні деталі	-	-	150
Всього			3810

Визначимо прибуток від економії коштів при використанні генераторного газу:

$$\begin{aligned} \Pi^{1\text{км}} &= C_{\text{БРН}}^{1\text{км}} - C_{\text{ГАЗ}}^{1\text{км}} = \\ &= 3,12\text{грн/км} - 0,83\text{грн/км} = 2,29\text{грн/км}, \quad (13) \end{aligned}$$

де  $C_{\text{БРН}}^{1\text{км}}$  – собівартість 1 км пробігу автомобіля на бензині;  $C_{\text{ГАЗ}}^{1\text{км}}$  – собівартість 1 км пробігу автомобіля на генераторному газі.

$$\begin{aligned} \Pi^{\text{РІК}} &= \Pi^{1\text{км}} * n = \\ &= 2,29\text{грн/км} * 109500\text{км/год} = 250755\text{грн/рік} \quad (14) \end{aligned}$$

Визначимо термін окупності мобільної газогенераторної установки:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{гу}}}{\Pi^{\text{РІК}}} = \frac{10019,48\text{грн}}{250755\text{грн/рік}} = 15\text{днів}, \quad (15)$$

де  $K_{\text{гу}}$  – капітальні витрати на виготовлення газогенераторної установки, грн;  $\Pi^{\text{РІК}}$  – прибуток від економії коштів при використанні генераторного газу, грн./рік.

Переобладнання двигуна при встановленні газогенераторної установки не вимагається, двигуни вантажних автомобілів можуть з легкістю працювати на генераторному газі без усіляких доробок. Єдина зміна, яка вимагається – це встановлення змішувача у двигуні внутрішнього згорання, який буде змішувати генераторний газ з повітрям для подачі у циліндри двигуна. При переобладнанні автомобільних двигунів на генераторний газ висувуються наступні вимоги:

- 1) збереження основних конструктивних параметрів двигуна;
- 2) забезпечення заданої потужності газового двигуна без застосування наддуву;
- 3) максимальне використання вузлів і деталей двигуна;
- 4) забезпечення надійного й легкого пуску двигуна.

При переведенні рідкопаливних двигунів на споживання генераторного газу зазвичай відбувається зменшення їх потужності, але воно не дуже суттєво впливає на їх динамічні якості.

#### Висновки

На прикладі схеми газогенераторної установки для вантажного автомобіля ЗиЛ-130 обґрунтовано, що сучасні технологічні параметри – вихід газу з 1 кг палива, витрата за годину двигуном газу, палива, газоповітряної суміші та площа газогенераторної установки – забезпечують зниження собівартості 1 км пробігу автомобіля на генераторному газі в порівнянні з використанням бензину майже в чотири рази. При тому ж термін окупності мобільної газогенераторної установки з щоденним пробігом автомобіля у 300 км складає 15 днів.

Таблиця 4. Витрати на утримання обслуговуючого персоналу мобільної газогенераторної установки

Перелік показників	Місячний оклад, грн.	Річний фонд оплати праці, грн.
Заробітна плата працівників, що обслуговують мобільну газогенераторну установку	1000	12 000
Всього 12 000. Нарахування у фонд заробітної плати (38%) 4 560		
Всього на утримання обслуговуючого персоналу 16 560		

#### Список літератури:

1. Авдонькин Ф.Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей: Учеб. пособие для вузов. – М.: Транспорт, 1985. – 215с.
2. Автомобильные и тракторные двигатели (теория, с-мы питания, констр. и расчет) / И.М. Ленин, К.С. Попык, О.М. Малашкін, И.Я. Райков, Г.И. Самоль, К.Н. Сидорин; Под ред. И.М. Ленина. Учеб. для вузов по спец. "Автом. и тракторы". – М.: Высшая школа, 1969. – 656 с.
3. Анохин В.И. Отечественные автомобили. – М.: Госуд. научно-тех. изд. машиностр. л-ры, 1961. – 368 с.
4. Банютин К.А. Газогенераторные автомобили. – М.: Издат. Наркомхоза РСФСР, 1940. – 216 с.
5. Давидович С.М. Тракторы і автомобілі / С.М.Давидович, К.І.Гальвік. – К.: Держ. видав. с.-г. літерат. Української РСР, 1952. – 286 с.
6. Ємець Б.В. Покращання показників техніко-експлуатаційних властивостей транспортних засобів з газогенераторними установками: Дис. канд.техн. наук: 05.22.02 – 2009.
7. Лось А.В. Ідентифікація як основа макропроекування очисно-охолоджувальної системи газогенераторної установки автотракторних двигунів в екологічному аспекті / А.В.Лось, Б.В.Ємець // Вісн. ДАУ. – 2005. – №2. – С. 228 - 238.
8. Лось А.В. Перспективи створення і визначення показників та основних розмірів газогенераторних установок для тракторних двигунів / А.В.Лось, Б.В.Ємець, М.І.Шмалюк // Вісн. ДАУ. – 2006. – №1. – С. 109 – 121.
9. Токарев Г.Т. Газогенераторные автомобили. – М.: Изд. Мин. колхоз. РСФСР, 1948. – 160 с.

**Примітка:** Робота виконана під керівництвом професора, д-ра техн. наук Г.М. Забарного