УДК 629.113:662.766.31/38

Б.В. Ємець
Житомирський агротехнічний коледж

КОРИСНЕ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ГАЗОГЕНЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК – ШЛЯХ ДО ЗНИЖЕННЯ НЕГАТИВНОЇ ДІЇ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Розглядаються моделі використання теплової енергії, отриманої від процесу газифікації. Наведено результати експериментального підтвердження адекватності даного моделювання.

Постановка проблеми

Одне з основних завдань сучасності – забезпечувати найбільш повне використання природних енергетичних ресурсів, зменшити ріст витрат антропогенної енергії на одиницю продовольства та знижувати негативну дію на навколишнє середовище. Одне із джерел цієї дії у сільському господарстві – трактори, автомобілі, інші сільськогосподарські машини та знаряддя [3, 4, 5, 6, 8, 11]. Наприклад, їх двигуни шкодять довкіллю не лише своїми токсичними відпрацьованими газами після згорання робочої суміші, але й тим, що частина корисної енергії від процесу згорання

© Б.В. Ємець

потрапляє у навколишнє середовище у вигляді тепла, яке збільшує загрозу парникового ефекту на нашій планеті.

В останні роки, шукаючи альтернативу дорогим та токсичним нафтопродуктам, інженери та науковці знову звернули увагу на місцеві види палива – деревину, торф, солому, тощо [4,8]. У попередньому столітті, ще до кінця 60-х років, подібне паливо газифікували в газогенераторних установках, встановлених на тракторах і автомобілях, двигуни яких працювали на робочій суміші, в складі якої був генераторний газ. У порівнянні з нафтопродуктами використання генераторного газу в складі робочої суміші двигунів значно зменшує токсичність відпрацьованих газів при його згоранні [6, 8, 11].

При всіх перевагах використання газогенераторних установок, встановлених на тракторах і автомобілях, протікання процесу газифікації супроводжується деякими недоліками. Один з них – великі втрати теплової енергії, отриманої від процесу газифікації, через стінки корпусу газогенератора та пристроїв очисно-охолоджувальної системи – грубого очисника-охолоджувача, радіаторного охолоджувача, трубопроводів, тощо. Деякі вчені ці втрати оцінюють у середньому як 25 % тепла, отриманого від процесу газифікації [6, 8, 9, 11, 12]. Не можна вважати конструкцію газогенераторних установок сучасною, якщо нехтувати доволі значною кількістю теплової енергії.

Основна мета, з якою написана дана стаття – показати, що частину втрат теплової енергії, отриманої від процесу газифікації, можна застосовувати з користю.

Аналіз останніх досліджень

Для стаціонарних установок теплову енергію можна використати: для обігріву приміщень; для нагріву води у де-яких технологічних операціях тощо. Для мобільних – при пуску холодного двигуна взимку, для обігріву закритого кузова [6, 8, 9].

Токарєв Г.Т. [12] пропонує коефіцієнт корисної дії η газогенераторної установки визначати:

$$\eta = \frac{V_g \cdot Q_н^{г}}{Q_H^P}, \quad (1)$$

де η – коефіцієнт корисної дії газогенератора;

$Q^{г}_{н}$ – нижча теплотворна здатність 1м^3 газу в кал./м^3 (при О^{o}С і 760 мм.рт.ст.);

Q^P_H – нижча теплотвірна здатність визначеної робочої маси твердого палива в кал./м^3.

Нижча теплотвірна здатність визначеної робочої маси твердого палива визначається за формулою Менделєєва:

$$Q_H^P = 81 \cdot C^P + 246 \cdot H^P - 26 \cdot (O^P - S_Л^P) - 6 \cdot W^P \quad \text{ккал./кг}, \ (2)$$

де C^P, H^P, O^P, W^P, $S_Л^P$ – вміст вуглецю, водню, кисню, вологи, летючої (горючої) сірки у робочому паливі відповідно.

Визначити втрати тепла у процесі газифікації можна за формулою [9]:

$$Q_{втр} = G_T \cdot Hu \cdot (1-\eta) \text{ МДж/год,} \qquad (3)$$

де G_T – витрати твердого палива (з праці [12]), кг/год;
Hu – питоме теплоутворення палива, МДж /кг;
η – коефіцієнт корисної дії установки.

Об'єкти та методика дослідження

Об'єктом досліджень послужила газогенераторна установка автомобіля ГАЗ-53-12, в закритому кузові якого (рис. 2) виміряна температура повітря.

З допомогою "критерію W" [10] визначено відповідність вибірки вимірювань температури повітря нормальному закону та випадкову похибку цих вимірювань.

Результати досліджень

Відомий факт, що в зимових умовах пуск двигуна утруднений різними факторами: холодним повітрям, що використовується для сумішоутворення; холодною рідиною охолодження двигуна; низькою температурою масла двигуна тощо. Холодне масло двигуна приводить до швидкого зношення його деталей [1]. Тому розроблено багато способів підведення тепла до двигуна для його швидкого пуску в зимових умовах. Якщо на тракторі чи автомобілі встановлено газогенераторну установку, то вона є джерелом такої теплової енергії. Розглянемо суть цього процесу. Газогенератор 1 (рис. 1.) будь-якого типу газифікує тверде паливо, при цьому виділяється кількість тепла, яка частково передається через стінку бункера до ємкостей з маслом та водою. Коли ці рідини нагріються (цей період часу бажано визначити), крани 6 та 7 відкривають і нагріті вода та масло трубопроводами 2 та 3 поступають до двигуна, де змішуються з холодними рідинами, передаючи їм та двигуну тепло. При необхідності надлишок рідин, після запуску, можна видалити через зливні крани (чи пробки) 11 та 12.

Визначити втрати тепла у процесі газифікації можна за формулою (3).

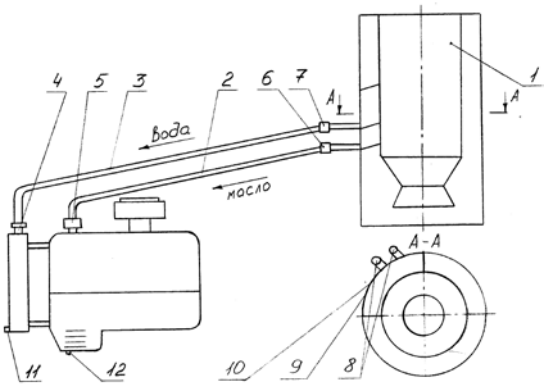

Рис. 1. **Схема використання теплової енергії, отриманої від процесу газифікації**

Для моделювання параметрів теплопередачі скористаємось законом Фур'є, який можна записати у вигляді формули:

$$dQ = \frac{\lambda_c (t_1 - t_2) \cdot S_c}{l_c} d\tau \ , \quad (4)$$

де dQ – кількість теплоти, що проходить через стінку;
λ_c – коефіцієнт теплопровідності;
S_c – поверхня стінки;
l_c – товщина стінки;
$d\tau$ – зміна часу, за який проходить теплопередача.
Проінтегруємо кожну частину рівняння (4):

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau} \frac{\lambda_c \cdot (t_1 - t_2) \cdot S_c}{l_c} \cdot d\tau = \frac{\lambda_c \cdot (t_1 - t_2) \cdot S_c}{l_c} \cdot (\tau - \tau_0) \ , \quad (5)$$

де τ_0 та τ – початковий та наступний момент часу при теплопередачі.
Припустимо, що ємкості будуть розміщуватися вище горловини камери газифікації газогенератора. Для цієї зони Токарєв Г.Т. наводить температуру зовнішньої стінки при різних режимах роботи двигуна [12]. Вибираємо газогенератор оберненого типу газифікації. В цьому випадку утворений газ обігріває бункер з підготовленим паливом, тому ємкості не будуть займати всю поверхню бункера газогенератора, а лише чверть її. Запишемо поверхню бункера S_c як:

$$S_c = \frac{1}{4} \pi \cdot d \cdot h \ , \quad (6)$$

де h – висота стінки;
d – діаметр стінки (бункера).

Токарєв Г.Т. пропонує розглядати діаметр корпусу газогенератора оберненого типу на 40…60 мм більшим за діаметр бункеру. Скористаємось цим для запису сумарного об'єму $V_є$ ємкостей для підігріву масла та охолоджуючої рідини:

$$V_є = \frac{1}{4}(V_{ч.кор.} - V_{ч.бун..}) = \frac{1}{4}(\frac{\pi \cdot h}{4}(d_\delta + 0{,}06)^2 - \frac{\pi \cdot h}{4} \cdot d_\delta{}^2) = \frac{\pi \cdot h}{16}((d_\delta + 0{,}06)^2 - d_\delta{}^2), \quad (7)$$

де $V_{ч.кор.}$ та $V_{ч.бун.}$ – відповідно частини корпуса та бункера газогенератора, між якими будуть розміщуватись ємкості для підігріву масла та води;

d_δ – діаметр бункера газогенератора.

Розрахувавши формули (1, 2, 3, 5, 6, 7), які будемо вважати моделлю корисного використання теплової енергії, отриманої від процесу газифікації, визначимо основні параметри для забезпечення підігріву двигунів тракторів чи автомобілів у зимових умовах. Якщо використати дані та результати розрахунків параметрів газогенераторної установки ЗМЗ-53 [6, 9] та розрахувавши формули (6, 7) отримаємо наступні величини параметрів моделювання: поверхня стінки S_c = 0,378 м^2; об'єм ємностей для підігріву масла та охолоджуючої рідини $V_є$ = 0,013 м^3. Об'єм ємностей $V_є$ – сумарний, для масла достатньо ємності 0,003 м^2, а більша частина відводиться для ємності з рідиною для системи охолодження двигуна, що відповідає заправочним характеристикам двигуна ЗМЗ-53 [6].

Авдонькін Ф.Н. [1] приводить дані щодо теплопродуктивності джерел тепла для різних умов підігріву двигунів у зимових умовах (табл. 1). Використавши формулу (5) визначимо час τ, необхідний для забезпечення даної теплопродуктивності, врахувавши, що стінки корпусів стальні, а коефіцієнт теплопровідності λ_c = 43,2 Вт/м ºС. Як видно з таблиці 1, навіть у найбільш несприятливих умовах, після 0,2 години розпалювання і попереднього розігріву до середньої температури 65,9ºС, [9], достатньо 5,6 хвилини для розігріву охолоджуючої рідини та масла до необхідної температури. Температура навколишнього середовища при цьому -20ºС [1], хоча при необхідності можна розрахувати параметри і для нижчих температур. Слід зауважити на ряд спрощень (як і в будь-якій математичної моделі реального процесу [2, 13]), які допущені при розрахунках:

- не враховується існуюча теплопередача між ємностями масла та охолоджуючої рідини;

- не враховується існуюча теплопередача до бічних стінок ємностей від газу, що знаходиться в бункері.

Але ці процеси лише збільшать величину отриманої теплової енергії рідинами від процесу газифікації, тому подібні припущення можуть мати місце в розрахунку.

Таблиця 1. **Дані для розрахунку теплопродуктивності джерела для підігріву двигуна ЗМЗ-53**

Умови експлуатації двигуна	Температура навколишнього середовища t_0,°С	Коефіцієнт тепловіддачі α, кДж/м^2	Теплопродуктивність джерела тепла q_A, кДж/год.	Теплопродуктивність від газогенератора, кДж	Теоретичний час, необхідний для підігріву рідин τ, год.
Захищений	-20	17	2980	70,9	0,016
Не захищений, великий вітер	-20	105	16600	70,9	0,093

Теплову енергію від газогенераторної установки можна використовувати і для обігріву закритих кузовів транспортних засобів. Установка знаходиться безпосередньо у закритому кузові, і теплова енергія, що передається через її стінки, передається повітрю кузова, нагріваючи його до деякої середньої температури. Саме цю температуру бажано визначити для того, щоб знати можливості такого обігріву. Вище ми розглянули визначення витрат тепла у процесі газифікації (3).

Кількість тепла можна визначити ще й за формулою:

$$Q = K \cdot F \cdot (t\text{-}t_0)\ \text{Вт}, \quad (8)$$

де F – поверхня теплопередачі, м^2;

$t\text{-}t_1$ – різниця температур при теплопередачі, ^{0}С ;

K – коефіцієнт теплопередачі [14].

Використовуючи формулу (8) або модель нестаціонарного процесу передачі теплоти [9], можна визначити теплову енергію, яка через поверхню газогенераторної установки передається повітрю закритого кузова.

Ця енергія, наприклад для автомобіля ГАЗ-53, становить близько 142,16 МДж/год (табл. 2). Різниця температури Δt визначена в результаті моделювання як 119,5ºС , при умові, що в кузові температура повітря t_0 = 0ºС.

Теоретично визначена середня температура повітря в закритому кузові доволі висока 50–60ºС (табл. 2).

Теплову енергію від газогенераторної установки, можна використовувати коли у її складі присутній радіаторний охолоджувач. Останній розміщений у закритому кузові, всі інші пристрої – поза кузовом. Це необхідно, у тому випадку коли газогенераторна установка встановлена на транспортний засіб із закритим кузовом невеликого об'єму. (У випадку, коли вся установка знаходиться в об'ємі кузова, поверхня теплопередачі може бути надмірна. В середовище кузова надходить значна кількість тепла, температура в кузові стає занадто високою).

Визначення кількості тепла, яку отримає радіатор від газогенераторної установки скористаємося формулою:

$$\Delta q = c \cdot \rho \cdot \Delta V (U - U_1), \quad (9)$$

де c – питома теплоємкість; ρ – густина; ΔV – об'єм; $(U - U_1)$ – різниця температури між стінкою та навколишнім середовищем.

Формула (9) використана в даному випадку тому, що враховує об'єм радіатора ΔV. Для установки ЗМЗ-53: ΔV=0,195м^3. Ця величина враховує вхідні та вихідні трубопроводи та додатковий об'єм, до стандартного радіатора, для збору конденсату. Густину газу (як теплоносія) прийнято ρ=1,25кг/м^3, теплоємність при сталому об'ємі C_V=1,09 кДж/кг·ºС. Різниця температури рівна 45ºС, вона прийнята на основі експериментальних даних [13]. Дані для моделювання процесу обігріву кузова теплом від газогенераторної установки або її радіатора в таблиці 2.

Таблиця 2. **Дані та результати моделювання процесу обігріву кузова теплом від газогенераторної установки**

Спосіб встановлення джерела тепла	Тепловий потік через стінки установки або радіатора $Q_{втр}$, МДж/год.	Середня температура в кузові t_c, ºС	Температура повітря на виході з радіатора $\Delta t_{п. вих.}$, ºС
Установка знаходиться в закритому кузові	142,16	50,0	-
Радіатор знаходиться в закритому кузові	33,44	16,9	33,7

Розрахувавши формулу (9), отримаємо Δq =11,956 кДж. Але тільки частина цієї теплоти буде відводитись через стінки радіатора. Загальний коефіцієнт корисної дії установки 0,75 (для деревини, див.[9, 12]). З формули (3) кількість теплоти Q_p , що буде відводитися від радіатора за годину – 10,76 МДж/год.

Температуру підігріву повітря, що проходить крізь радіатор визначали за формулою:

$$\Delta t_n = \frac{Q_p}{3600 \cdot F_{фр.} \cdot C_p \cdot \omega_n \cdot \rho_n}, \quad (10)$$

де C_p – питома теплоємність повітря, C_p=1,05·10^3 Дж/(кг·^{0}С);

$\omega_n \cdot \rho_n$ – масова швидкість повітря (приймається на основі експериментальних даних). Величина $\omega_n \cdot p_n$=0,4, при умові, що вентилятор не використовується в конструкції радіатора [14]; $F_{фр}$ – фронтальна площа решітки, м^2 , для наших даних $F_{фр}$ = 0,16 м^2.

Розрахувавши формулу (10), отримаємо температуру підігріву Δt_n=47,3ºС.

Температуру повітря на виході з радіатора можна визначити:

$$t_{п.вих} = t_{п.вх} + (.\Delta t_n / 2), \quad (11)$$

де Δt_n – температура підігріву повітря в решітці радіатора, ºС.

Величина $t_{п.вих.}$ =10+23,7=33,7ºС, де $t_{п.вх.}$ приймається на 10ºС більше ніж температура повітря закритого кузова [14].

Було прийнято, що температура навколишнього середовища 0 ºС, тоді середня теоретична температура в кузові складе 16,9ºС.

Наведені вище теоретичні розрахунки необхідно було експериментально підтвердити, для цього використали закритий кузов автомобіля ГАЗ-53 (див. фото рис.2). Термоперетворювачами вимірювали температуру повітря в закритому кузові, при цьому дотримувались умови, що засіб вимірювання знаходиться на відстані не ближче 1 м від поверхні газогенератора. В якості термоперетворювача використали: лабораторні термометри по класу А, стандартні платинові термопари та мілівольтметри. Реєстрацію показів мілівольтметра починали через 0,5 години після розпалювання газогенератора.

Рис. 2. **Закритий кузов автомобіля ГАЗ-53**

Вибірку отриманих даних перевірили на відповідність до розподілення нормального закону, для подальшого визначення випадкової складової похибки [7]. Дані цієї перевірки є в таблиці 3, в якій використано наступні позначення: $<x>$ – середнє арифметичне значення величин, що вимірюється (температури повітря закритого кузова); $\sigma_{<x>}$ – середня квадратична похибка середнього арифметичного; $\Delta_{гр}$ – довірча межа похибки вимірювання; ε – відносна похибка вимірювання; $\varepsilon_м$ – похибка теоретичного моделювання. Значення "критерію W" порівнюємо з нормованим "критерієм W*" [7], воно більше нормованого, тому отримані дані відповідають розподіленню нормального закону.

Таблиця 3. **Результати розрахунку відповідності вибірки вимірювань температури в закритому кузові автомобіля ГАЗ-53 нормальному закону та визначення випадкової похибки цих вимірювань**

Спосіб встановлення джерела тепла в кузові автомобіля	Значення "критерій W"	Значення "критерій W*"	$<x>$	$\sigma_{<x>}$	$\Delta_{гр}$	ε	$\varepsilon_м$
Установка знаходиться в закритому кузові	0,946	0,762	39,72	1,11	2,85	7,2	25
Радіатор знаходиться в закритому кузові	0,881	0,742	17,28	0,29	0,95	5,5	2,2

* критерій W* нормований

Висновки

1. З допомогою значення коефіцієнту корисної дії газогенераторної установки можна визначити величину втрат теплової енергії від процессу газифікації даного виду палива.
2. Значення середньої температури газогенераторної установки дає можливість орієнтовно обґрунтувати та визначити ту частину енергії від процесу газифікації, яку можна використати для виконання корисної роботи. При цьому ККД установки буде збільшуватись, теплове навантаження на навколишнє середовище зменшуватись.
3. Тепло газогенераторної установки можна ефективно використовувати для обігріву закритих кузовів, при пуску двигуна взимку.
4. Адекватність розглянутого загального моделювання можна рахувати задовільним.

Подальші дослідження слід зосередити на створенні різних типів та видів газогенераторних установок.

Література

1. *Авдонькин Ф.Н.* Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей: Учеб. пособие для вузов. – М.: Транспорт, 1985. – 215 с.

2. *Братусь А.С., Новожилов А.С.* Математические модели экологии и динамические системы с непрерывным временем: Учеб. пособие. – М.: Фак. вычисл. мат. и киберн. МГУ, 2004. – 240 с.

3. *Голубчиков С.И.* Глобальное изменения климата: итог XX века//Энергия, экон., техника, экология. – 2004. -№8. – С. –14–23.

4. ДСТУ 4276-2004. Система стандартів у галузі охорони навколишнього середовища та раціонального використання ресурсів. Атмосфера. Норми і методи вимірювання димності відпрацьованих газів автомобілів з дизелями або газодизелями. – чинний від 2004-07-01. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 16 с.

5. Екологічне законодавство України: Зб. нормат. актів / Відп. ред. *І. О. Заєць.* – К.: Юрінком Інтер, 2001. – 416 с.

6. *Ємець Б.В.* Визначення загальної енергоємності використання автомобілів з газогенераторною установкою в екологічних агротехнологіях // Вісн. ДАУ. – 2005. – №1. – С. – 208–214.

7. *Кэмпион П.Дж., Барнс Д.Е., Вильямс А.* Практическое руководство по представлению результатов измерений: Пер. с англ. и предисловие проф. *В.И. Иванова.* – М.: Атомиздат, 1979. – 72 с.

8. *Лось Л.В., Вознюков В.А., Шмалюк М.І.* Екологічні аспекти нового газогенераторного автотракторного двигуна // Вісн. ДАУ. – 2000. – №2. – С. – 38–40.

9. *Лось Л.В., Ємець Б.В.* Ідентифікація як основа макропроектування очисно-охолоджу вальної системи газогенераторної установки автотрак-

торних двигунів в екологічному аспекті // Вісн. ДАУ. – 2005. – №2.– С.– 228–238.

10. *Рего К.Г.* Метрологическая обработка результатов технических измерений: Справ. пособие. – К.: Техника, 1987. – 128 с.

11. Створення сучасного газогенераторного двигуна внутрішнього згоряння для північних районів України – важливий фактор підтримки с.-г. товаровиробника / *М.І. Шмалюк, В.А. Вознюков, Б.В. Ємець, Л.В. Лось* // Вісн. Інжен. академії України. – 2001. – №2. – С. – 75–77.

12. *Токарєв Г.Т.* Газогенераторные автомобили. – М.: Изд. Мин. комхоз. РСФСР, 1948. – 160 с.

13. *Усланченко І.І.* Визначення теплових потоків з усіх видів тепло споживання: Навч. посібник для студен. вищ. навч. закладах / Харк. держ. техн. ун-т будів. та архітек. – Х.: Форт, 2004. – 152 с.

14. *Ховах М.С.* Автомобильные двигатели: Учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 1977. – 654 с.

15. *Bernard B.* Alternative kinds of energy // Afrigue exp.– 1984. – №4. – P. –44 с.