

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

За умов дефіциту енергоносіїв в Україні, використання альтернативних видів палив для виробництва теплової та електричної енергії є актуальним. В роботі проаналізовано методи розрахунку теплофізичних властивостей генераторного газу. Проведено розрахунок густини, теплоємності, коефіцієнту динамічної в'язкості, кінематичної в'язкості, коефіцієнту теплопровідності, критерія Прандтля генераторного газу з таким складом $H_2=9,1\%$, $CO=20,4\%$, $N_2=57,7\%$, $CO_2=10,1\%$, $CH_4=1,4\%$, $O_2=1,3\%$.

Ключові слова: газогенерація, спалювання, генераторний газ, густина, теплоємність, коефіцієнт динамічної в'язкості, кінематична в'язкість, коефіцієнт теплопровідності, критерій Прандтля.

Abstract

Given the scarcity of energy resources in Ukraine, the use of alternative fuels for the production of thermal and electric energy is relevant. Methods of calculating the thermophysical properties of generator gas are analyzed in this work. The calculation of density, heat capacity, coefficient of dynamic viscosity, kinematic viscosity, heat transfer coefficient, Prandtl criterion of generator gas with the following composition $H_2=9,1\%$, $CO=20,4\%$, $N_2=57,7\%$, $CO_2=10,1\%$, $CH_4=1,4\%$, $O_2=1,3\%$.

Keywords: gas generation, combustion, generator gas, density, heat capacity, coefficient of dynamic viscosity, kinematic viscosity, thermal conductivity, Prandtl criterion.

В Україні спостерігається значний дефіцит енергоносіїв, тому використання альтернативних видів палив, зокрема низькосортних, для виробництва теплової та електричної енергії є актуальним.

Аналіз існуючих технологій використання деревини в якості палива показав, що найбільш доцільними методами термічної переробки є методи термічної переробки: спалювання, газифікація, піроліз.

Термохімічна газифікація являє собою процес часткового окислення вуглецемісткої сировини, (деревини зокрема) з отриманням газоподібного носія – генераторного газу. Отриманий газ складається з CO , CO_2 , H_2 , CH_4 , невеликої кількості вуглеводневих сполук більш високого порядку, таких як етан, містить пари води, азот (при повітряному дутті) і різні домішки такі як смола, частинки вуглистих речовин і зола. В якості окислювача при газифікації можуть використовуватись повітря, кисень, пара чи суміші цих речовин. Максимальна температура процесу складає $800-1300\text{ }^\circ C$ найбільш широко зараз використовується повітряна газифікація [1].

Перед спалюванням генераторного газу в двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ), його потрібно очистити та охолодити. Для проектування теплообмінників для охолодження генераторного газу, необхідні його теплофізичні властивості. У відомих літературних джерелах [2 – 9] такої інформації немає. Є дані лише по теплофізичних властивостях окремих компонентів, але для горючих складових генераторного газу для вузького температурного діапазону. В зв'язку з цим тема роботи є актуальною.

Мета роботи – аналіз методів розрахунку теплофізичних властивостей газових сумішей; визначення теплофізичних властивостей генераторного газу обраного складу з використанням різних методик.

Для генераторного газу з таким складом $H_2=9,1\%$, $CO=20,4\%$, $N_2=57,7\%$, $CO_2=10,1\%$, $CH_4=1,4\%$, $O_2=1,3\%$ нами визначено теплофізичні властивості.

Для визначення густини суміші газів використано формулу [3]

$$\rho_{cm} = \sum_i \rho_i \cdot Y_i, \quad (1)$$

де ρ_i, y_i – густина і об'ємна частка i -го компонента.

Густина газу при абсолютній температурі T і тиску P з достатньою точністю можна знайти по рівнянню стану ідеального газу:

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{T}{T_0} \cdot \frac{P}{P_0}, \quad (2)$$

де ρ_0 – густина газу при нормальних умовах ($T_0=273$ К, $P_0=760$ мм рт. ст.), кг/м^3 , T – температура газу, К.

Для визначення теплоємності суміші газів в Нормативному методі теплового розрахунку котлоагрегатів наведено формулу, $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$

$$C_{г.пал.} = 0,01(C_{H_2} \cdot H_2 + C_{CO} \cdot CO + C_{CH_4} \cdot CH_4 + C_{CO_2} \cdot CO_2 + \dots) + 0,00124 \cdot C_{H_2O} \cdot d_{г.пал.}, \quad (3)$$

де $d_{г.пал.}$ – вологовміст газоподібного палива, г/м^3 , C_{CO} , C_{CH_4} , C_{CO_2} – теплоємності компонентів газу, $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$.

Для визначення динамічної в'язкості суміші в літературних джерелах пропонуються різні методики [4, 7].

Авторами використано формулу Хеннінга

$$\mu_{см}^0 = \frac{x_1 \cdot \mu_1^0 \cdot \sqrt{M_1 \cdot T_{кр.1}} + x_2 \cdot \mu_2^0 \cdot \sqrt{M_2 \cdot T_{кр.2}} + \dots}{x_1 \cdot \sqrt{M_1 \cdot T_{кр.1}} + x_2 \cdot \sqrt{M_2 \cdot T_{кр.2}} + \dots}, \quad (4)$$

де $\mu_{см}^0$ – в'язкість газової суміші при t , °С (при помірних тисках);

μ_1^0, μ_2^0 – в'язкість чистих газових компонентів при температурі t , °С;

x_1, x_2 – об'ємні частки компонентів суміші;

M_1, M_2 – молекулярні маси компонентів суміші;

$T_{кр.1}, T_{кр.2}$ – критичні температури компонентів суміші.

За даними Шмідта [4], що перевірів формулу Хеннінга для промислових газових сумішей (топкові гази різного складу, генераторні гази, коксові гази), похибка розрахунку для інтервалу температур від 0 до 1000 °С склала в середньому $\pm 1,9\% \dots \pm 4\%$. Результати перевірки експериментальних і розрахункових даних для коксового газу, показали, що розрахунок в'язкості суміші газів, що містять багато водню, дає завищені результати за високих температур.

Огляд літератури показав, що для газових сумішей коефіцієнт теплопровідності не визначається за законом адитивності. Для визначення коефіцієнта теплопровідності суміші газів є декілька методик [5, 6, 7].

Авторами використано формулу Лемана

$$\lambda_{см} = \frac{x_1 \cdot \lambda_1 \cdot \sqrt[3]{M_1} + x_2 \cdot \lambda_2 \cdot \sqrt[3]{M_2} + \dots}{x_1 \cdot \sqrt[3]{M_1} + x_2 \cdot \sqrt[3]{M_2} + \dots}, \quad (5)$$

де $\lambda_{см}$ – коефіцієнт теплопровідності газової суміші при температурі t , °С (при помірних тисках);

λ_1, λ_2 – коефіцієнти теплопровідності чистих газових компонентів при температурі t , °С;

x_1, x_2 – мольні частки компонентів суміші;

M_1, M_2 – молекулярні маси компонентів суміші.

Таблиця 1 – Теплофізичні властивості генераторного газу зі складом $H_2=9,1\%$, $CO=20,4\%$, $N_2=57,7\%$, $CO_2=10,1\%$, $CH_4=1,4\%$, $O_2=1,3\%$

Температура, °С	ρ , кг/м ³	C_p , кДж/(м ³ К)	λ , Вт/(м·К)	C_p , кДж/(кг·К)	μ , 10 ⁵ , Па·с	ν 10 ⁵ , м ² /с
1	2	3	4	5	6	7
0	1,213	1,329	0,0225	1,116	1,956	1,612

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7
100	0,888	1,343	0,0295	1,139	2,525	2,844
200	0,7	1,358	0,036	1,162	3,005	4,292
300	0,578	1,373	0,0423	1,187	3,439	5,95
400	0,492	1,391	0,0486	1,217	3,836	7,795
500	0,428	1,408	0,0546	1,248	4,204	9,812
600	0,379	1,426	0,0608	1,276	4,55	11,994
700	0,34	1,444	-	-	4,875	14,323
800	0,309	1,461	-	-	5,812	16,792
900	0,282	1,477	-	-	5,468	19,369
1000	0,26	1,492	-	-	5,746	22,087

Слід зазначити, що коефіцієнт теплопровідності генераторного газу визначено лише в діапазоні від 0 до 600 °С, оскільки в довідковій літературі немає відомостей для метану.

ВИСНОВКИ

В роботі проаналізовано методи розрахунку теплофізичних властивостей генераторного газу. На основі аналізу літературної інформації для розрахунку в'язкості газової суміші запропоновано формулу Хеннінга, а для розрахунку коефіцієнту теплопровідності суміші формулу Лемана. Проведено розрахунок густини, теплоємності, коефіцієнту динамічної в'язкості, кінематичної в'язкості, коефіцієнту теплопровідності, критерію Прандтля генераторного газу з таким складом $H_2=9,1\%$, $CO=20,4\%$, $N_2=57,7\%$, $CO_2=10,1\%$, $CH_4=1,4\%$, $O_2=1,3\%$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гелетуха Г. Г. Современное состояние и перспективы развития биоэнергетики в Украине/ Гелетуха Г. Г., Железная Т. А., Жовмир Н. М., Матвеев Ю. Б. // Промышленная теплотехника. – 2005, т.27, №1.– с. 78–85.
2. Гинзбург Д. Б. Газификация низкосортного топлива/ Д. Б. Гинзбург. – Промстройиздат. – 1950. – 171 с.
3. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков – М.: Химия, 1981. – 286 с.
4. Бретшнайдер С. Свойства газов и жидкостей / С. Бретшнайдер. – М.: "Химия", – 1966. – 536 с.
5. Цедерберг Н. В. Теплопроводность газов и жидкостей / Н. В. Цедерберг. – М.: Госэнергоиздат. – 1963. – 408 с.
6. Миснар А. Теплопроводность твердых тел, жидкостей, газов и их композиций/ А. Миснар. – М.: Мир – 1968. – 460 с.
7. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки: Справочник/ Рабинович Г. Г., Рябых П. М., и др; Под ред. Е. Н. Судакова. – М.: Химия. – 1979. – 568 с.
8. Физические величины: Справочник / А. П. Бабичев, Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский и др. Под ред. И. С. Григорьева. М.: Энергоатомиздат – 1991. – 1232 с.
9. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н. Б. Варгафтик. – М.: Наука. – 1972. – 720 с.

Боднар Лілія Анатоліївна, к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики ВНТУ. e-mail: Bodnar06@ukr.net

Лепетан Іван Васильович, студент групи ТЕ-17 м, факультет будівництва, теплоенергетики та теплогазопостачання, Вінницький національний технічний університет. e-mail: lepetan94@mail.ua

Bodnar Lilia, Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Bodnar06@ukr.net.

Lepetan Ivan – Department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University.