

УДК 530.17+536.7+541.8(11)

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АЛЬТЕРНАТИВНИХ МОТОРНИХ ПАЛИВ, ЯК АСПЕКТ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Умеренкова К.Р.¹, к.т.н., доц.; Левтеров А.М.², к.т.н., с.н.с.;
Кондратенко О.М.¹, д.т.н., доц.

¹Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

²Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного Національної академії наук України, Харків, Україна

Захист атмосферного повітря, водних ресурсів та ґрунтів від забруднення різними поллютантами є одним із основних завдань збереження якості довкілля для сучасних та майбутніх поколінь людей. При цьому розробка і запровадження екологічно чистих технологій, як вважають провідні прогнозисти світу, є життєво важливою необхідністю людства, тобто носить глобальний характер. Головними причинами антропогенного забруднення навколишнього природного середовища (НПС) у промислово розвинених країнах світу є паливно-енергетичний комплекс, промисловість, транспорт. Причому поршневі двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ), що застосовуються на автотранспорті, є основними забруднювачами атмосфери міст канцерогенно-мутагенними інгредієнтами. Ці речовини можуть викликати в організмі людини зміни спадкових властивостей, порушуючи генетичні програми клітин. З продуктами спалювання палива, у тому числі з відпрацьованими газами (ВГ) автомобільних ДВЗ, викидаються шкідливі речовини в газоподібному вигляді (СО, СН, NO_x, SO₂ тощо) або у вигляді аерозолів (твердих або рідких): канцерогенних вуглеводнів, твердих частинок. Основними споживачами нафтових палив, запаси яких обмежені та близькі до вичерпання, є транспортні засоби з ДВЗ. Тому їхня екологізація має проводитися з урахуванням вказаної двоаспектної (споживання невідновного енергоресурсу та вплив продуктів спалювання на компоненти НПС) паливної проблеми.

Метою дослідження є вдосконалення математичного інструментарію для визначення теплофізичних властивостей альтернативних моторних палив як засіб підвищення рівня екологічної безпеки використання енергоустановок з ДВЗ. **Об'єктом дослідження** є альтернативні моторні палива як засіб підвищення рівня екологічної безпеки використання енергоустановок з ДВЗ. **Предметом дослідження** є теплофізичні властивості альтернативних моторних палив.

Виклад основного матеріалу дослідження. Основні напрями у вирішенні паливно-екологічних проблем автомобільного транспорту є наступні.

1. Застосування нетрадиційних, у тому числі альтернативних, моторних палив. До альтернативних моторних палив відносяться: природний газ (ПГ), як найефективніший енергоносіє; синтетичні моторні палива (СМП); біопалива, у тому числі й біогаз (БГ); водень, який може використовуватися як високоефективна добавка до горючих сумішей та як необхідний компонент при виробництві СМП, а також в якості основного енергоносія.

2. Удосконалення робочих процесів ДВЗ. При цьому відомим є те, що не слід очікувати відчутного покращення економічності двигуна без внесення конструктивних змін. Для цього необхідні розробка та впровадження технології переобладнання існуючих бензинових та дизельних двигунів автомобілів, а також

створення сучасних «екологічних двигунів».

Використання ПГ та БГ як моторне паливо для транспорту сприяє зниженню рівня викидів шкідливих речовин з потоком ВГ. Так, у порівнянні з бензиновими двигунами, у продуктах згоряння газових двигунів знижується вміст токсичних речовин [1]: Pb з 0,42 до 0 г/дм³; SO₂ з 5,5 до 0 ppm; NO_x з 257,3 до 18,0 ppm; СН з 83,2 до 19,2 ppm; CO з 1,46 до 0,16 %. Як видно, використання ПГ і БГ замість бензину дозволяє суттєво знизити рівень токсичності ВГ, що є одним з важливих аспектів вирішення зазначеної проблеми. Сутність його полягає у створенні енергоустановок з ДВЗ, адаптованими до АМП, та частковому заміщенні ними традиційних нафтових палив.

Важливе значення у процесі пристосування двигунів до АМП має вивчення їх теплофізичних властивостей. Інформація про теплофізичні властивості палив дозволяє більш точно моделювати процеси робочих циклів ДВЗ, вдосконалювати конструкцію та характеристики дозуючих пристроїв систем живлення двигунів, характеристики систем керування.

Аналіз науково-технічної літератури показує, що основні напрями у сучасних розробках провідних закордонних фірм зосереджені на покращенні екологічних показників ДВЗ, у першу чергу зниження токсичності їх ВГ, вдосконалення організації робочих процесів, дослідження та вдосконалення фізичних властивостей АМП. За кордоном виробництво газових ДВЗ досить добре розвинене і низка фірм виробляє двигуни, що працюють на традиційному паливі та на БГ або ПГ. В Україні поки що немає масового застосування АМП для енергоустановок з ДВЗ, тому розвиток цього напрямку є актуальним.

Для теоретичних і експериментальних досліджень, пов'язаних з особливостями використання АМП для транспортних ДВЗ, необхідно вирішувати завдання, що дозволяють прогнозувати необхідні теплофізичні властивості різноманітних палив. Створення сучасних методів дасть змогу визначати ці властивості у широких діапазонах станів – від зрідженого газу до параметрів згоряння чи термічного розкладання. На основі аналізу існуючих методів розрахунку зроблено висновок про те, що різні модельні схеми та емпіричні залежності можуть давати прийнятні кількісні результати в обмежених діапазонах станів. При цьому для розрахунків потрібна значний обсяг вихідних даних про властивості компонентів та їх сумішей. Однак, для використання у практично важливі області – рідкої фази АМП, зазначені методи не можуть бути застосовані.

Такий стан питання зумовлює необхідність розвитку сучасних статистико-механічних методів опису властивостей АМП, у яких використовується мінімум вихідних даних та параметрів. Проведені дослідження присвячені застосуванню оригінальної модифікованої схеми термодинамічної теорії збурень (МТЗ) [2,3] для опису властивостей АМП, які є багатокомпонентними сумішами (ПГ і БГ).

Питома (що припадає на одну частинку) вільна енергія f_m n -компонентної суміші у межах МТЗ, що враховує другий порядок, має вигляд формули (1). Початковим етапом розрахунків властивостей у двофазній n -компонентній системі є визначення густини ρ_m^* суміші при заданих температурі T та тиску p . Розрахунки фазових рівноваг, тобто визначення складів рідкої (L) та парової (V) фаз та значень їх густин, виконуються на основі формальної системи рівнянь виду (2), у якій p_m – тиск суміші; μ_i – хімічний потенціал i -го компонента.

Чисельна реалізація розробленої математичної моделі здійснюється за допомогою комп'ютерної програми визначення фазових рівноваг і теплофізичних властивостей рідкої та парової фаз багатокомпонентних АП, що включає також підпрограму розрахунку властивостей в однофазній області (гомогенному стані).

Визначаються властивості наступних компонентів і складених із них сумішей: граничні вуглеводні (CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , $n\text{-C}_4\text{H}_{10}$, $i\text{-C}_4\text{H}_{10}$, $n\text{-C}_5\text{H}_{12}$, $i\text{-C}_5\text{H}_{12}$, C_6H_{14} , C_7H_{16} , C_8H_{18} , C_9H_{20} , $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$); інертні гази (He , Ne , Ar , Kr , Xe); азот N_2 ; діоксид вуглецю CO_2 ; оксид вуглецю CO ; водень H_2 ; кисень O_2 ; вода H_2O ; сірководень H_2S ; бензол C_6H_6 тощо.

$$\beta f_m = \beta f_m^{(0)} + \sum_{i,k=1}^n x_i x_k \rho_{ik}^* (I_{ik}^{(1)} + I_{ik}^{(2)} / T_{ik}^*) / T_{ik}^*, \quad (1)$$

$$\begin{cases} p_m(v_m^L, T, \{x_i^L\}) - p = 0; \\ p_m(v_m^V, T, \{x_i^V\}) - p = 0; \\ \mu_1(v_m^L, T, \{x_i^L\}) - \mu_1(v_m^V, T, \{x_i^V\}) = 0; \\ \dots\dots\dots \\ \mu_n(v_m^L, T, \{x_i^L\}) - \mu_n(v_m^V, T, \{x_i^V\}) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

де $f_m^{(0)}$ – вільна енергія n -компонентної суміші твердих сфер; x_i – концентрація (мольна частка) i -го компонента; $\beta = 1/(kT)$; k – стала Больцмана; $\rho_{ik}^* = \rho \sigma_{ik}^3$ – наведена густина числа частинок; $T_{ik}^* = (\beta \epsilon_{ik})^{-1}$; σ_{ik} та ϵ_{ik} – параметри вихідних потенціалів міжмолекулярної взаємодії $u_{ik} = \epsilon_{ik} \phi(r/\sigma_{ik})$ (використовується потенціал Леннард-Джонса $\phi(x) = 4(x^{-12} - x^{-6})$); $I_{ik}^{(1)}$, $I_{ik}^{(2)}$ – узагальнення групових інтегралів першого та другого порядків для сумішей [3].

Зазначені набори забезпечують, зокрема, опис ПГ, газового конденсату, шахтного газу, енергоносіїв на основі водню, азоту, робочих тіл паливних елементів електрохімічних генераторів та інших сумішей. Властивості, що визначаються: рівняння стану (p , V , T – співвідношення, густина); коефіцієнти теплового розширення та ізотермічного стиску; фазові рівноваги «рідина-пара»; енергія (Гіббса, внутрішня, вільна); ентальпія; ентропія; теплоємності (C_p , C_v).

На рис. 1 показана діаграми ФР рідина-пара сумішей метан-етан при вказаних температурах. На рис. 1 зображено фазову діаграму базової бінарної суміші метан-етан для набору ізотерм. Порівняння з експериментальними даними (значки) дозволяє оцінити похибки опису складів рідкої та парової фаз близько 4–5 мол. %. Як правило, експериментальні дані при наближенні до критичних точок відсутні, тому отримані розрахункові величини прогнозують фазову поведінку сумішей у цих областях.

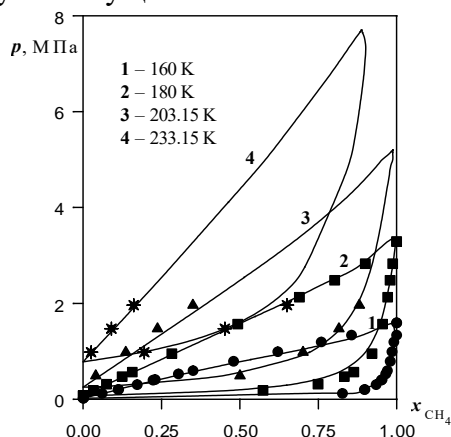


Рисунок 1 – Діаграми ФР рідина-пара сумішей метан-етан при вказаних температурах

У табл.1 отримані розрахунковим шляхом значення молярного об'єму вуглеводневої суміші, що відповідає можливому складу ПГ або БГ, порівнюються з експериментальними даними, наведеними у літературі. Похибка розрахунку показує гарне узгодження експериментальних та розрахункових значень.

Аналіз результатів дослідження. У дослідженні проаналізовано стан глобальної проблеми паливно-енергетичної кризи та забруднення НПС продуктами згоряння вуглеводневих палив промислових та транспортних енергоустановок, оснащених поршневыми ДВЗ.

Таблиця 1 – Порівняння експериментального та розрахункового значення молярного об'єму вуглеводневої суміші

Склад суміші Мольні частки компонентів, %	T, К P, МПа V _{експ.} , М ³ /КМОЛЬ	Розрахунок по МТЗ	
		V _{розн.} , М ³ /КМОЛЬ	Похибка, %
CH ₄ =72,27; C ₂ H ₆ =4,551; C ₃ H ₈ =2,474; n-C ₅ H ₁₂ =5,205; C ₇ H ₁₆ =3,65; C ₁₀ H ₂₂ =2,814; N ₂ =3,02; CO ₂ =3,015; H ₂ S=3,001	338,71 22,62 0,09469	0,096	1,38
CH ₄ =77,43; C ₂ H ₆ =5,74; C ₃ H ₈ =2,99; n-C ₅ H ₁₂ =4,66; C ₇ H ₁₆ =3,59; C ₁₀ H ₂₂ =2,63; H ₂ S=2,96	338,71 21,75 0,1003	0,1004	0,09
CH ₄ =80,97; C ₂ H ₆ =5,66; C ₃ H ₈ =3,06 n-C ₅ H ₁₂ =4,57; C ₇ H ₁₆ =3,3; C ₁₀ H ₂₂ =2,44	366,45 21,63 0,1134	0,1134	0,00
Середня похибка, $\bar{\delta} = \sum \delta / N , \%$			0,49

Для підвищення ефективності використання альтернативних моторних палив (АМП), як одного з аспектів вирішення проблеми, запропоновано оригінальний метод та результати розрахунку теплофізичних властивостей широкого класу АМП (водень, природний газ, біогаз, шахтний газ, коксовий, доменний та синтез-газ та ін.). У роботі наведено опис розробленої математичної моделі визначення параметрів фазових рівноваг та теплофізичних властивостей щільних молекулярних систем (щільних газів та рідин). Обчислювальні процедури ґрунтуються на основі термодинамічної теорії збурень без залучення емпіричних параметрів. Особливостями методу є: обмеженість вихідної інформації, висока точність, можливість застосування у будь-яких практично важливих діапазонах станів. Похибки розрахунків перебувають на рівні традиційних експериментальних похибок.

Висновки. Забруднення НПС канцерогенними речовинами, особливо атмосфери великих міст, є глобальною екологічною проблемою II половини ХХ – 20-х рр. ХХІ століття. Вважають, що 90 % канцерогенних вуглеводнів, що містяться у НПС, пов'язані з енергетикою, промисловістю, транспортом тощо. При цьому найбільшим забруднюючим джерелом атмосфери міст канцерогенно-мутагенними інгредієнтами є автотранспорт із ДВЗ. При цьому комплекс науково-технічних заходів, спрямованих на зниження техногенного навантаження на довкілля, входить створення екологічних транспортних ДВЗ, тобто, покращення екологічних показників ДВЗ, зниження токсичності їх ВГ, удосконалення організації робочих процесів, дослідження та вдосконалення фізичних властивостей АМП. У цій роботі запропоновано методики розрахунку параметрів АМП, які використовуються при математичному моделюванні робочих процесів ДВЗ з низьким рівнем вмісту шкідливих речовин у ВГ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Парсаданов И.В., Канило П.М., Строков А.П. Оценка показателей дизелей городских автобусов при использовании альтернативных топлив. *Двигатели внутреннего сгорания: сб. научн. тр.* 2010. № 2. С. 104–109.
2. Умеренкова К.Р., Борисенко В.Г. Перспективи використання альтернативних палив і методика визначення їх теплофізичних характеристик: монографія. Харків: НУЦЗ України, 2021. 101 с.
3. Маринин В.С. Теплофизика альтернативных энергоносителей. Харьков: Форт, 1999. 212 с.