

7. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 168 с.

8. Углев В.А. Разработка экспертных систем с применением внешних модулей / В.А. Углев, Б.С. Добронез // Молодёжь и наука: начало XXI века: Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных: В 3 ч. Ч. 1. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – С. 305-306.

9. Углев В.А., Измайлов В.А. Динамически подключаемая библиотека "FLM_Integrator". – М.: Роспатент, 2012. – №2012613119 от 30.03.2012.

УДК 662.7

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГАЗОПОДІБНИХ ПАЛИВ ДЛЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

В.В. Слободчиков¹, М.М. Балака², М.В. Педоряка³

¹завідувач денним відділенням «Механізація та інформаційні технології», викладач, Миколаївський будівельний коледж Київського національного університету будівництва і архітектури, м. Миколаїв, Україна, e-mail: xair@ukr.net

²асистент кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, e-mail: maxim.balaka@gmail.com

³студентка групи ПНМ-31, Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, e-mail: marinabgan@bigmir.net

Анотація. В роботі проаналізовано можливість застосування газоподібних палив в якості альтернативних моторних палив. Проведено порівняння фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей традиційних нафтових і газоподібних моторних палив.

Ключові слова: газоподібне паливо, газ, двигун внутрішнього згоряння.

THE APPLICATION FEATURES OF GASEOUS FUELS FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Vitaly Slobodchikov¹, Maxim Balaka², Marina Pedoryaka³

¹Head of Mechanization and Information Technology Day Department, Lecturer, Mykolaiv Building College of Kyiv National University of Construction and Architecture, Mykolaiv, Ukraine, e-mail: xair@ukr.net

²Assistant of Building Machinery Department, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, e-mail: maxim.balaka@gmail.com

³Student of group PNM-31, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, e-mail: marinabgan@bigmir.net

Abstract. The possibility use of gaseous fuels as an alternative motor fuels are analyzed in the paper. A comparison of traditional oil and gaseous motor fuels on the basic of physico-chemical and performance properties is carried.

Keywords: gaseous fuel, gas, internal combustion engine.



Вступ. Останнім часом спостерігається тенденція до зменшення ролі нафти та нафтопродуктів у світовій економіці, яка пояснюється зниженням темпів видобутку розвіданих запасів нафти, помітному скороченні інвестицій у геологорозвідувальні роботи і підвищенні цін на нафту та нафтові палива. Це створює передумови для застосування альтернативних моторних палив, які відповідатимуть високим вимогам експлуатаційних показників і вирішуватимуть екологічну проблему транспортної енергетики [1].

Мета роботи. Проаналізувати можливість застосування газоподібних палив у двигунах внутрішнього згоряння та провести їх класифікацію. Розглянути види газоподібних палив, які використовуються в якості альтернативного моторного палива, з подальшим їх аналізом та порівнянням з традиційними нафтовими паливами для автомобільних двигунів.

Матеріал та результати досліджень. Вуглеводні з кількістю атомів карбону менше п'яти, що входять до складу природних і промислових газів за нормальної температури та тиску, є газоподібними паливами (ГП). Вперше газ як паливо для двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) запропонував у 1801 р. Ф. Лебон та перші поршневі ДВЗ – двигуни Ж. Ленуара (1861 р.), а також Н. Отто і Е. Лангена (1867 р.) функціонували на ГП.

Перевагами газоподібних моторних палив є:

- наявність значних тільки природних ресурсів, простота їх видобутку і транспортування по трубопроводах;
- можливість застосування додаткового енергоносія, що сприяє збереженню для хімічної промисловості нафти як цінної хімічної сировини;
- висока теплова цінність більшості газоподібних палив;
- легкість подачі, дозування і змішування з повітрям;
- висока детонаційна тривкість;
- повне згоряння з невеликим надлишком повітря без виділення кіптяви, смол і утворення корозійно-активних сполук сульфуру;
- відсутність шкідливого впливу на моторну оливу;
- зменшення зношування деталей ДВЗ;
- низька емісія токсичних компонентів у відпрацьованих газах в порівнянні з традиційними нафтовими моторними паливами.

До недоліків газоподібних палив слід віднести:

- високу вибухонебезпечність;
- отруйність ряду ГП (світільний, генераторний і доменний газу).

Загальна класифікація ГП передбачає розподіл за питомою теплотою згоряння, походженням і агрегатним станом в паливних баках транспорту.

Усі види ГП за об'ємною енергоємністю Q поділяють на три групи [2]:

- низькокалорійні (генераторний, доменний, рудний) до 10^5 кДж/м³;

– середньокалорійні (водяний, світільний, коксовий) від 10^5 до $2 \cdot 10^5$ кДж/м³;

– висококалорійні (природні з газових та газоконденсатних родовищ, нафтові або супутні, що добуті безпосередньо з нафтою з свердловин, а також промислові як продукти переробки нафти на нафтопереробному заводі або її продуктів на нафтохімічних комбінатах) більше $2 \cdot 10^5$ кДж/м³.

Розглянемо тільки висококалорійні гази – природні та нафтові (супутні та промислові), які використовуються в якості моторного палива.

Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості нафтовим моторних палив (НМП) і палив з природного газу [3] наведено в таблиці 1.

Порівняння нафтового бензину, метану і пропан-бутану за вмістом токсичних речовин у відпрацьованих газах за критерієм інтегральної екологічної небезпеки [3] наведено в таблиці 2.

Експерти фірми «British Gas» виконали оцінку економічного збитку (ф.ст./км пробігу) з урахуванням екологічних властивостей деяких моторних палив, який складає: для бензину нафтового – 0,01, для дизпалива нафтового – 0,026 і для природного газу – менше 0,002. Значним фактором з розширення застосування природного газу є цінова політика, тобто державне зниження податків на газоподібне паливо порівняно з нафтовим.

Таблица 1 – Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості НМП і палив з природного газу

Показник	Нафтові моторні палива		Палива з природного газу	
	бензин	дизпаливо марки Л	КПГ*	СНГ**
Октанове число (дослідне)	80...98	—	100...110	90...110
Цетанове число	—	40...45	—	18...22
Масова енергоємність, МДж/кг	41...44	42...43	49...50	45...46
Питома теплоємність при 20 °С, Дж/кг·град	2,0...2,1	2,9	2,2	1,65
Стехіометрична потреба повітря в процесі згоряння, кг/кг	14...15	14,0... 14,5	17,0...17,5	15,0
Температура (°С) при 0,1013 МПа: застигання (кристалізації) кипіння спалахнення самозаймання	нижче –60	не вище –10	–182	–187
	35...215	160...360	–162	–42
	нижче 0	нижче 40	—	—
	350...400	230...300	650...700	550...600
Відношення С/Н	5,5	6,5	3,0	4,5
Густина при 20 °С, кг/м ³	700...760	810...870	150 при 2 МПа	550 при 2 МПа
Коефіцієнт заміності по відношенню до бензину	1,0	0,75	0,84	0,94

*Компримований природний газ; ** Скраплений нафтовий газ

Таблиця 2 – Інтегральна екологічна небезпека (ІЕН) моторних палив

Компонент відпрацьованих газів	Коефіцієнт екологічної небезпеки	Викид в атмосферу (г/кВт-год) при використанні					
		бензину нафтового		метану		пропан-бутану	
		викид	ІЕН, від.од.	викид	ІЕН, від.од.	викид	ІЕН, від.од.
Карбон (II) оксид	1	10	10	1,5	1,5	2	2
Вуглеводні (без метану)	2	2	4	0,2	0,4	1,5	3
Оксиди нітрогену	70	2	140	1	70	1,6	112
Бензапірен	$3 \cdot 10^6$	0,03	$9 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^{-4}$	900	$3 \cdot 10^{-4}$	900
Оксиди плюмбуму	10^4	0,1	100	—	—	—	—
Сума ІЕН, від.од.			90254		972		1017

Компримований (стиснений) природний газ (CNG – Compressed Natural Gas) сьогодні є одним з альтернативних моторних палив, який застосовується в ДВЗ. Поряд з високою масовою енергоемністю (див. табл. 1), низьким вмістом токсичних речовин у продуктах згоряння (див. табл. 2) та високою детонаційною тривкістю, що пом'якшує роботу двигуна і дає змогу форсувати його за ступенем стиску, до позитивних факторів використання компримованого природного газу (КПГ) можна віднести [4]:

- підвищення на 35...40 % моторесурсу двигуна порівняно з бензиновими ДВЗ;
- збільшення у 2...3 рази терміну використання моторної оливи і на 30...40 % терміну служби свічок запалювання.

Але поряд з перевагами цей вид палива має суттєві недоліки [3, 4]:

- підвищення вартості машини (за наявності газобалонної апаратури) в середньому на 27 %;
- зниження потужності ДВЗ на 18...20 % за рахунок зменшення енергоемності паливоповітряної суміші і коефіцієнта наповнення циліндрів у порівнянні зі скрапленими природним і нафтовим газами;
- збільшення тривалості розгону на 24...30 % і зниження максимальної швидкості на 5...6 % за рахунок погіршення тягово-динамічних властивостей транспортного засобу;
- зменшення вантажопідйомності машини на 9...14 % за рахунок значної маси (до 90 кг) балонів високого тиску (до 20 МПа) об'ємом 50 л;
- необхідності ретельного очищення КПГ від вологи (для запобігання замерзання апаратури при дроселюванні газу), та від ціану (CN)₂ (для запобігання руйнування стінок балонів від міжкристалічної корозії);
- збільшення на 7...8 % трудомісткості техобслуговування та ремонту.

Але з урахуванням того, що питома вартість витраченого палива різко знижується, транспорт, який працює на КПГ, все-таки більш економічний.

Нижче наведено різноманітні можливості пристосування сучасних ДВЗ для живлення їх компримованим природним газом .

- Модернізація, завдяки введенню нових елементів, належить до модифікації існуючих двигунів, яка проводиться шляхом зміни або введення нових елементів, що створюють можливість використання в якості палива КПГ. Виробник транспортного засобу не дає гарантії на такі двигуни.
- Нові двигуни – це стосується двигунів, вироблених на заводі та фабрично пристосованих до живлення КПГ.
- Спеціальні двигуни, пристосовані виключно для живлення КПГ (модернізовані або нові двигуни).
- Двопаливні двигуни з відкритою системою керування – стосується винятково конверсії дизельних двигунів. У цих двигунах збережена існуюча паливна система і додана паливна система КПГ. Застосовується два палива та їх взаємні пропорції змінюються в залежності від навантаження двигуна. 100 % споживання дизпалива, але неможливе 100 % споживання КПГ.
- Двопаливні двигуни з замкнутою системою керування – модифікація двигуна, що живиться двома паливами, причому об'ємна частка дизпалива невелика і обмежується джерелом запалення для КПГ. Двигун, що живиться винятково дизпаливом, може працювати на холостому ходу, але не може досягти повної потужності.
- Двигуни, які працюють на двох паливах, належать до двигунів, що можуть заправлятися по черзі бензином і КПГ, але ніколи двома паливами одночасно. Вибір палива здійснюється за допомогою механічного або автоматичного перемикача.

Для роботи на КПГ пристосовані автомобілі марок ЗИЛ-138А, ГАЗ-52-27, КамАЗ-53208...КамАЗ-53218, автомобілі-самоскиди ЗИЛ-ММЗ-54054, автомобілі-фургони ГЗСА-37042 (для перевезення хліба), ГЗСА-8991В (для перевезення промислових товарів), ГЗСА-893Б (для перевезення меблів), машини міського комунального господарства, автобуси ЛиАЗ-677Г, ЛиАЗ-695П, ЛАЗ-695НГ тощо [4]. Автомобільні газонаповнюючі компресорні станції рентабельні (АГНКС) при об'ємах реалізації КПГ 7...8 млн.м³/рік [3].

Скrapлений природний газ (LNG – Liquefied Natural Gas). Особливістю використання СПГ є дуже низька температура його кипіння – мінус 162 °С, що створює певні складності під час його добування і зберігання. Однак нині розроблені установки для отримання СПГ з використанням технології виробництва рідких водню та кисню для ракетної техніки, які можуть бути розташовані на АГНКС і газоредукуючих станціях (ГРС); продуктивність цих установок забезпечує отримання 400...1000 кг СПГ за годину [3].

Для збереження на борту транспортного засобу будь-якого скрапленого газу необхідна установка спеціальних кріогенних ізотермічних балонів,

які мають подвійну оболонку – внутрішню з легованої сталі, а зовнішню – з вуглецевої сталі, простір між якими вакуумований або заповнений теплоізоляційним матеріалом. Внутрішня оболонка вкрита декількома шарами тепловіддзеркалювальної фольги. Така конструкція балона дозволяє зберігати скраплений газ протягом 5 діб практично без втрат, однак значно збільшує вартість балону в порівнянні зі звичайними балонами для КПГ.

Скраплення природного газу дозволяє зменшити його об'єм в 600 разів, масу й об'єм балону для зберігання – в 3...4 та 1,5...2 рази відповідно.

Порівняння паливних систем і основних характеристик на прикладі автомобіля ЗИЛ-138А при використанні різних моторних палив [3] наведено відповідно в таблицях 3 і 4.

Таблиця 3 – Порівняння паливних систем автомобіля ЗИЛ-138А

Показник	КПГ	СПГ	Відношення КПГ/СПГ
Запас газу, кг	75	75	1
Місткість балонів, л	400	175	2,28
Робочий тиск, МПа	20	0,15	130
Кількість балонів	8	1	8
Маса балонів, кг	740	85	8,71
Об'єм простору, який необхідний для розташування балонів, м ³	1,4	0,6	2,33
Питома металоємність балонів, кг/кг газу	9,86	1,13	8,73

Таблиця 4 – Основні характеристики автомобіля ЗИЛ-138А при використанні різних моторних палив

Показник	Бензин нафтовий	КПГ	СПГ
Надлишковий тиск у балоні, МПа (max)	0,03	20	0,5
Об'єм балону на $4 \cdot 10^4$ кДж, л	1,30	6,20	1,95
Корисна вантажопідйомність, кг	6000	5500	6000
Маса автомобіля при повному заправленні, кг	4300	4900	4450
Викид карбон (II) оксиду в атмосферу, кг/рік	1200	400	400

Порівняння техніко-економічних показників КПГ і СПГ:

- енергоємність їх виробництва приблизно однакова;
- при широкомасштабному виробництві питомі капіталовкладення на СПГ нижчі на 20...30 %, собівартість в розрахунку на 1000 м³ газу нижче на 20...40 %, а питомі приведені витрати на виробництво, доставку і розподіл нижчі на 10...30 % у порівнянні з КПГ.

За умов розробки високонадійних криогенних балонів і газодизельних двигунів з турбонадувом СПГ може стати перспективним паливом для важковантажних автомобілів (наприклад тягач Mack CH/LNG, який працює на СПГ, є самим «чистим» вантажним автомобілем в США [3]). Це дозволить щорічно замінити декілька млн. тон дизельного палива.

Скрапленный нефтовый газ (LPG – Liquefied Petroleum Gas). Основными компонентами СНГ є пропан (C_3H_8) та бутан (C_4H_{10}), вміст яких в пропан-бутані залежить від його призначення та марки.

Критична температура пропану дорівнює $97\text{ }^\circ\text{C}$, а бутану – $126\text{ }^\circ\text{C}$; при тиску відповідно $0,716$ та $0,103$ МПа і температурі нижчій від критичних ці вуглеводні легко скраплюються до бензоподібної рідини (густина СНГ становить – близько 600 кг/м^3). Октанові числа пропану і бутану дорівнюють відповідно 105 і 94 , що забезпечує форсування двигунів вантажних автомобілів зі ступенем стиску до $8,5\dots 9,0$ і дає змогу збільшити їх потужність.

Джерелами виробництва скрапленого нафтового газу є:

- переробка на газопереробному заводі природного газу газових та газоконденсатних родовищ, а також супутніх газів нафтових родовищ;
- різні процеси переробки нафти на нафтопереробних заводах;
- різні процеси органічного синтезу, які реалізовані на нафтопереробних заводах і нафтохімічних комбінатах.

Для автомобільного транспорту в країнах СНД за ГОСТ 27578-78 виробляється дві марки СНГ: ПА – пропан автомобільний (застосовується взимку при температурах повітря від -20 до $-35\text{ }^\circ\text{C}$) та ПБА – пропан-бутан автомобільний (використовують в усіх кліматичних зонах при температурі повітря не нижче $-20\text{ }^\circ\text{C}$).

Приміром у Польщі СНГ для транспортних засобів містять влітку 40% мас. пропану і 60% мас. бутану, а взимку ця пропорція протилежна [4]. Це пов'язано з тим, що тиск насиченої пари бутану при $37,8\text{ }^\circ\text{C}$ дорівнює $0,26$ МПа, а пропану – $1,2$ МПа, що впливає на здатність переходу цих складових СНГ у газоподібний стан.

Для виявлення можливого витіку СНГ він повинен мати характерний запах одоранту, оскільки не всі гази мають запах і колір, через що виявити їх витікання із паливної системи буває важко. Концентрація одоранту у повітрі в кількості 20% від нижньої межі завогнення повинна чітко розпізнаватися. Як одорант до СНГ найчастіше використовують етилмеркаптан, що має температуру кипіння $37\text{ }^\circ\text{C}$ і різкий неприємний запах; його відчують при концентрації в повітрі $1,9\cdot 10^{-4}\text{ г/м}^3$ [5].

Експлуатаційні якості автомобілів, двигуни яких працюють на СНГ (порівняно з бензином) оцінюють таким чином [4]:

- при правильному регулюванні й нормальному режимі роботи системи подачі СНГ знижується токсичність відпрацьованих газів, а саме за карбон оксидами (CO_x) в $3\dots 4$ рази, за нітроген оксидами (NO_x) в $1,2\dots 2,0$ рази, а неспаленими вуглеводнями (C_xH_y) в $1,2\dots 1,4$ рази і більше;
- за рахунок високого октанового числа СНГ можливо підвищити ступінь стиску ДВЗ і відповідно його потужність і паливну економічність (у протилежному випадку ДВЗ, які працюють на СНГ знижують потужність на міжміських магістралях на $7\dots 15\%$ та збільшують об'ємну витрату палива на $15\dots 20\%$ за рахунок більш низької густини палива);

- термін заміни моторної оливи збільшується в 2,0...2,5 рази;
- трудомісткість техобслуговування і ремонту зростає на 3...5 %, але їх витрати покриваються збільшенням міжремонтного пробігу в 1,2...1,4 рази.

На сьогодні промисловість країн СНД випускає газобалонні автомобілі для роботи на СНГ двох типів:

- зі спеціальними двигунами, розрахованими для роботи на газу з резервною системою живлення для термінової роботи на бензині (ЗИЛ-138, ЗИЛ-138В, ЛиАЗ-45023, ЛиАЗ-677Г, ГАЗ-53-07, ЛАЗ-695П);
- з універсальними двигунами, що допускають тривалу роботу як на бензині, так і на газу (ГАЗ-52-07, ГАЗ-52-08, ГАЗ-24-07).

Незважаючи на високі експлуатаційні властивості СНГ та їх екологічну ефективність частка автомобілів за кордоном, яка працює на СНГ невелика та складає: в Німеччині – 0,03 %, США – 0,25 %, Японії – 0,70 %, Бельгії – 1,73 %, Франції – 0,23 %, Данії – 2,20 % і Нідерландах – 7,50 % [3].

Висновки. Альтернативні моторні палива на сьогодні – це ефективні заміники традиційних нафтових палив, застосування яких дозволяє поліпшити екологічні та експлуатаційні властивості автомобільного транспорту. Однак, використання газоподібних палив у двигунах внутрішнього згоряння, зокрема компримованого і стиснутого природного газів та стисненого нафтового газу, вимагають модернізації конструкції двигуна, переобладнання машини і суворого дотримання правил техніки безпеки. Водночас важелем розширення застосування газоподібного палива порівняно з традиційним нафтовим моторним паливом є державна цінова політика.

ЛІТЕРАТУРА

1. Слободчиков В. В. Моторні палива з альтернативних енергетичних ресурсів / В. В. Слободчиков, М. М. Балака // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2015 : материалы Международ. науч.-практ. конф., 21–22 мая 2015 г. – Д. : НГУ, 2015. – С. 250–254.
2. Тереньев Г. А. Моторные топлива из альтернативных сырьевых ресурсов / Г. А. Тереньев, В. М. Тюков, Ф. В. Смаль. – М. : Химия, 1989. – 272 с.
3. Емельянов В. Е. Альтернативные экологически чистые виды топлива для автомобилей. Свойства, разновидности, применение / В. Е. Емельянов, И. Ф. Крылов. – М. : Астрель, АСТ, 2004. – 128 с.
4. Полянський С. К. Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельно-дорожніх машин / С. К. Полянський, В. М. Коваленко. – К. : Либідь, 2005. – 504 с.
5. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение : [справочник] / [И. Г. Анисимов, К. М. Бадаштова, С. А. Бнатов и др.] ; под ред. В. М. Школьников. – [2-е изд.]. – М. : Техинформ, 1999. – 596 с.