

УДК 696.2

доцент **Юрій Франчук**,

franchuk.yy@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-7910-8705

доцентка **Вікторія Коновалюк**

konovaliuk.va@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-5115-7188

Київський національний університет будівництва і архітектури

ВИКОРИСТАННЯ БІОМЕТАНУ І ВОДНЮ У ДВИГУНАХ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

***Анотація.** У статті проведено аналіз складу та якості природного газу відповідно вимог нормативних документів до газу, що транспортується в мережах газопостачання, та до газових сумішей, що можуть бути використанні у двигунах внутрішнього згоряння. Проведено порівняння інформації щодо складу та якості газу, що передбачена в різних нормативних документах з інформацією отриманою в результаті проведених досліджень взятих проб газу в газовій мережі. Запропонована методика дозволяє розрахувати склад газу який максимально використовуватиме відновлювальні джерела енергії (біогаз, водень). Утворена при цьому суміш буде відповідати нормативним вимогам щодо якості газу для двигунів внутрішнього згоряння, тобто вимогам ДСТУ ГОСТ 27577:2005. Рекомендовано доочищення мережевого газового палива та зменшення вмісту твердих частин, рідких фракцій і сірки до нормативних значень.*

Ключові слова: природний газ, якість газу, двигун внутрішнього згоряння, теплота згоряння, склад газу.

Вступ. В останні п'ять років споживання природного газу в Україні становило біля 30 млрд. м³. Використання газу у 2022 році у зв'язку з широкомасштабним вторгненням росії зменшилось до 25 млрд м³. Природний газ крім традиційного використання в промисловості та житловому секторі все більше використовується в транспорті. Використання газу продукує на 80 % менше шкідливих викидів та забезпечує на 40-50 % економії витрат порівняно з нафтопродуктами.

На сьогодні в Україні налічується більше 300 заправок стисненого природного газу. При зростанні попиту на стиснений газ цього стає замало. Проте розгалужена газотранспортна система України має потенціал для розширення мережі заправокних станцій. Необхідна інфраструктура заправокних станцій на метані може бути створена в будь-якому місті, де є доступ до газотранспортної мережі, серед іншого біля важливих автострад.

Актуальність дослідження. Країни Європейського Союзу все ширше

використовують газ на транспорті. Згідно з Директивою Європейського Союзу щодо розвитку інфраструктури з альтернативних видів палива, європейські країни мають забезпечити доступність у радіусі 150 км електро-, метанових та водневих заправок. Тобто стратегія енергетичного переходу у сфері транспорту закріплена на законодавчому рівні.

Верховна Рада України схвалила законопроект № 8172, який має на меті сприяти розвитку екологічно чистого громадського транспорту. Закон накладає обмеження на закупівлю та експлуатування дизельних та бензинових автобусів у громадському транспорті. З 2036 року на міських автобусних маршрутах буде дозволено використовувати транспорт, що обладнаний водневими паливними елементами, або транспортні засоби, які працюють на газі. За прогнозами експертів, до 2030 року близько 25 % всього громадського транспорту у великих містах України становитимуть електричні або газові автобуси, а до 2033 року їхня частка має подвоїтися.

З урахуванням стану війни з росією, частого порушення електро- та енергопостачання, відбудови та розбудови економіки України потреба у використанні пересувних пристроїв, що індивідуально виробляють енергію, зростає.

Останні дослідження та публікації. Вимоги до складу та якості стисненого природного газу для двигунів внутрішнього згоряння викладено в [1]. Питання використання природного газу відображено в нормативних документах[2-7].

У монографії [8] розглянуто актуальність використання стиснутого природного газу як палива для автотракторної техніки та проаналізовано способи переобладнання дизелів для роботи на стиснутому природному газі. У роботі [9] стверджується, що використання альтернативних палив, зокрема стисненого природного газу, дизельного біопалива рослинного чи тваринного походження тощо, дозволить значно розширити паливну базу дизельних автотранспортних засобів та не потребує значної зміни їхньої конструкції. У роботі [10] визначено, що основними замінниками традиційного нафтового палива може бути газове паливо, яке за своїми властивостям подібне до бензину. Проведений аналіз показав, що газове паливо перевершує бензин як за експлуатаційними, так і за екологічними показниками, а вартість необхідного газового палива нижче вартості бензину. Це загалом підтверджує доцільність переведення автомобільного парку на газове паливо. Аналіз складу газу, що міститься в газотранспортній мережі, показав наявність значних кількостей домішок [11]. Ці домішки обмежують можливості використання мережевого газу у двигунах внутрішнього згоряння.

Формулювання цілей статті. Для визначення потенційних можливостей

використання мережевого газу для спалювання у двигунах внутрішнього згоряння необхідно проаналізувати фізико-хімічні показники газу різного походження.

Основна частина. Газоподібне паливо є основною складовою паливного балансу України. Разом з активним використанням газу в промисловості, сільському господарстві, житловому і комунальному секторах, газоподібне паливо має перспективи використання і у двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ).

Газоподібне паливо із транспортних магістральних трубопроводів поступає на газорозподільні станції та після відповідного підготовлення газопроводами постачається споживачам, як у промисловості, житлово-комунальному секторі, так і на заправки автомобілів. Газ, яким заправляються автомобілі, має відповідати вимогам ДСТУ ГОСТ 27577:2005 [1], які наведено в табл.1.

Таблиця 1. Основні вимоги до якості газу для двигунів внутрішнього згоряння [1]

№ з/п	Назва показника	Значення
1	Об'ємна теплота згоряння нижча, МДж/м ³ , не менше	31,8
2	Відносна густина до повітря	0,55-0,70
3	Розрахункове октанове число (по моторному методу), не менше	105
4	Концентрація сірководню, г/м ³ , не більше	0,02
5	Концентрація меркаптанової сірки, г/м ³ , не більше	0,036
6	Маса механічних домішок в 1 м ³ , не більше	1,0
7	Сумарна об'ємна доля негорючих компонентів, %, не більше	7,0
8	Об'ємна доля кисню, %, не більше	1,0
9	Концентрація парів води, мг/м ³ , не більше	9,0

Основними горючими компонентами газоподібного палива є метан (СН₄), та газоподібні вуглеводні: етан (С₂Н₂), бутан (С₄Н₁₀) і водень (Н₂). Склад та якість газу, що транспортується газовими мережами, визначається вимогами Кодексу газотранспортної системи (ГТС) [3] та Технічного Регламенту газу [5] (табл. 2 і 3), а його склад відображається в паспорті газу який надає Оператор газу згідно з вимогами Кодексу ГТС.

У результаті порівняння нормативних вимог до якості газу для ДВЗ [1] з нормативними вимогами Кодексу ГТС [2] можна виділити наступне:

- значення теплоти згоряння для мережевого газу повинно знаходитися в діапазоні 32,66-34,54 МДж/м³, а для ДВЗ вимоги є менш жорсткими (не менше 31,8 МДж/м³);

Таблиця 2. Основні вимоги до складу газу в газотранспортній системі згідно вимог Кодексу ГТС

№ з/п	Назва показника	Значення
1	вміст метану, мол. %	мінімум 90
2	вміст етану, мол. %	максимум 7
3	вміст пропану, мол. %	максимум 3
4	вміст бутану, мол. %	максимум 2
5	вміст пентану та більш важких вуглеводнів, мол. %	максимум 1
6	вміст азоту, мол. %	максимум 5
7	вміст вуглецю, мол. %	максимум 2
8	вміст кисню, мол. %	максимум 0,2
9	нижча теплота згоряння (25 °С/20 °С) мінімум, МДж/м ³ (кВт·год/м ³) максимум, МДж/м ³ (кВт·год/м ³)	32,66 (09,07) 34,54 (09,59)
10	температура точки роси за вологою °С при абсолютному тиску газу 3,92 МПа	не перевищує мінус 8 (-8)
11	температура точки роси за вуглеводнями при температурі газу не нижче 0 °С	не перевищує 0°С
12	вміст механічних домішок:	відсутні
13	вміст сірководню, г/м ³	максимум 0,006
14	вміст меркаптанової сірки, г/м ³	максимум 0,02

Таблиця 3. Вимоги до показників якості природного газу згідно Технічного Регламенту

Показник якості	Одиниця вимірювання	Нормативне значення	
		мінімальне	максимальне
Відносна густина ¹	–	0,555	0,700 (0,750)
Масова концентрація механічних домішок	мг/м ³	не застосовується	1

¹Максимальне нормативне значення діє з 01.01.2025 року. До 01.01.2025 року діє нормативне значення, наведене в дужках.

- об'ємна частка кисню обмежена 0,2 % для мережевого газу та 1 % для ДВЗ.
- для ДВЗ не лімітується значення числа Воббе, але є обмеження щодо розрахункового октанового числа;

- відносна густина, що лімітована для ДВЗ для природного газу, нормується тільки в проєкті Технічного регламенту.

Паспорти фізико-хімічних показників природного газу підлягають оприлюдненню на вебсайті оператора газотранспортної системи.

Оперативні дані наводяться за узгодженими точками та містять чисельні значення:

- густини газу;
- вмісту метану, азоту, вуглекислого газу;
- температуру точки роси за вологою та за вуглеводнями;
- число Воббе;
- середньозважену вищу теплоту згоряння за звітній період.

У роботі [9] проведені дослідження показали, що газ у міських розподільних мережах містить 30...50 % вуглеводневого конденсату, 40...70 % пластової води, 5...15 % механічних домішок, 3...6 % мінеральних солей, 0,5...1,2 % продуктів корозії. Причинами наявності забруднень є незадовільне очищення внутрішньої порожнини трубопроводу після його будівництва перед введенням в експлуатацію і недосконале підготовлення газу на установках комплексного підготовлення газу на промислах.

Наявність сірководню H_2S , викликає корозійний знос газової апаратури та деталей двигуна. Смоляні сполуки призводять до абразивного зносу циліндропоршневої групи, зниження компресії двигуна та зміни в'язкості двигунної оливи.

При використанні мережевого газу як палива для двигунів внутрішнього згоряння викликає стурбованість щодо можливого вмісту в наявному газі забруднень. Перелічені негативні фактори вплинуть на активне абразивне зношення циліндропоршневої групи двигуна, зменшення компресії і потужності. Використання непередбачених важких фракцій призведе до неповного згоряння, надходження їх у піддон двигуна, зміни в'язкості оливи та, в кінцевому рахунку, як і в першому випадку, до передчасного виходу з ладу двигуна та потреби його ремонту. Для запобігання описаним процесам потрібно додаткову увагу приділяти якості газу та додатково контролювати забрудненість і стан двигунної оливи.

Раніше вимога до мольної частки кисню у природному газі, що подається до ГТС чи газорозподільної мережі, була на рівні не більше 0,02 %. Наразі частка збільшується до 0,2 % для подавання біометану до ГТС і до 1,0 % - для подавання біометану до ГТС.

Для прийняття технічного рішення щодо можливості використання мережевого газу у ДВЗ необхідно визначити відповідність отриманої газової суміші нормативним вимогам для даного обладнання. Згідно з вимогами

ДСТУ 27577-2008 «Газ природній» для двигунів встановлено дев'ять показників якості газу. У вимогах відсутнє нормування числа Воббе, а теплота згоряння знижена до 31,8 МДж/м³.

Вимоги можна описати виразом

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{n1}^p \cdot r_1 + Q_{n2}^p \cdot r_2 + \dots + Q_{nn}^p \cdot r_n \geq 31,8, \\ 0,55 \leq \rho_1 \cdot r_1 + \rho_2 \cdot r_2 + \dots + \rho_n \cdot r_n \leq 0,7, \\ O_1 \cdot r_1 + O_2 \cdot r_2 + O_n \cdot r_n \geq 105, \\ r_1 + r_2 + \dots + r_n = 1 \end{array} \right. , \quad (1)$$

де Q_{ni}^p – нижча теплота згоряння i -го компонента суміші, МДж/м³; ρ_i – густина i -го компонента суміші, кг/м³; O_i – октанове число i -го компонента суміші; r_i – об'ємна концентрація i -го компонента; n – кількість компонентів.

Прийнявши суміш 80 % метану, 10 % водню та 10 % біогазу маємо:

- теплоту згоряння $35,76 \cdot 0,8 + 10,83 \cdot 0,1 + 23 \cdot 0,1 = 31,99$ МДж.
- октанове число $110 \cdot 0,8 + 114 \cdot 0,1 + 129 \cdot 0,1 = 111,4$.
- густину $0,7168 \cdot 0,8 + 0,0899 \cdot 0,1 + 1,2 \cdot 0,1 = 0,69$ кг/м³.

Газ відповідає вимогам до палива ДВС.

Висновок. Запропонована методика оцінювання складу паливного газу для двигунів дозволяє визначити допустиму кількість біогазу, водню тощо для використання відновлювальних джерел енергії, наприклад, 80 % метану, 10 % водню та 10 % біогазу відповідає вимогам нормативних документів щодо меж теплоти згоряння, октанового числа та густини. З урахуванням тенденції збільшення використання газу, особливо біометану, використання газових сумішей у двигунах внутрішнього згоряння підлягає подальшого вивчення.

References

1. Naz pryrodnyi palyvnyi komprimovannyi dlia dvyhuniv vnutrishnoho zghoriannia. Tekhnichni umovy DSTU 27577:2005 (HOST 27577-2000, IDT), Derzhspozhyvstandart, 2005 (in Ukrainian)
2. Pravyla bezpeky system hazopostachannia. NPAOP 0.00-1.76-15. Osnova, 2015 (in Ukrainian)
3. Kodeks hazotransportnoi systemy. Postanova NKRE № 2493, 30.09.2015 <https://ips.ligazon.net/document/re27823> (in Ukrainian)
4. Kodeks hazorozpodilnykh system. Ofitsiyni visnyk Ukrainy, № 92,

- 27.11.2015, <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1379-15#Text>. (in Ukrainian)
5. Proiekt tekhnichnoho rehlamentu pryrodnoho hazu. 2019. <http://www.drs.gov.ua/wp-content/uploads/2019/05/4291> (in Ukrainian)
6. Pravyla okhorony pratsi pid chas ekspluatatsii obladnannia, shcho pratsiuie pid tyskom. NPAOP 0.00-1.81-18. https://dnaop.com/html/54590/doc-NPAOP_0.00-1.81-187 (in Ukrainian)
7. Pravyla okhorony pratsi na avtomobilnomu transporti. NPAOP 0.00-1.62-12. https://dnaop.com/html/32443/doc-NPAOP_0.00-1.62-12 (in Ukrainian)
8. Zakharchuk O.V. Vykorystannia hazovoho palyva v avtotraktornii tekhnitsi. RVV Lutskoho NTU, 2016. (in Ukrainian)
9. Kovbasenko S.V. "Mozhlyvosti pidvyshchennia ekolohichnoi bezpeky transportnykh zasobiv z dyzeliamy zastosuvanniam alternatyvnykh palyv." Visnyk mashynobuduvannia ta transportu, No2(16), 2022, pp. 51–57. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2022-16-2-51-57> (in Ukrainian)
10. Dobrovolskyi O.S., Stupak N.S. "Dotsilnist perevedennia avtomobilnoho parku na hazove palyvo." Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriia: Tekhnichni nauky, № 1 (37), 2017. pp. 124-132. <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/37/124.pdf> (in Ukrainian)
11. Kaptsova N. I. Pidvyshchennia efektyvnosti ekspluatatsii ta remontu miskykh hazoprovodiv. Diss. abstract. O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 2018. <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0418U002881/> (in Ukrainian)

associate professor **Yurii Franchuk**,

franchuk.yy@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-7910-8705

assistant **Viktoriia Konovaliuk**,

konovaliuk.va@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-5115-7188

Kyiv National University of Construction and Architecture

USE OF BIOMETHANE AND HYDROGEN IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Abstract. *Over the past five years, natural gas consumption in Ukraine has been around 30 billion m³. In 2022, gas consumption is decreased to 25 billion m³ due to russia's invasion. In addition to its traditional use in industry and the residential sector, natural gas is increasingly used in transportation. The use of gas produces 80 % less harmful emissions and provides 40...50 % cost savings compared to oil products. The European Union countries are increasingly using gas in*

transport. According to the European Union's Directive on the development of alternative fuels infrastructure, European countries must ensure the availability of electric, methane and hydrogen filling stations within a radius of 150 km. This means that the strategy of energy transition in the transportation sector is enshrined in law. The Verkhovna Rada of Ukraine has approved draft law No. 8172, which aims to promote the development of environment-friendly public transport. The law imposes restrictions on the purchase and operation of diesel and gasoline buses in public transport. The article analyses the composition and quality of natural gas in accordance with the requirements of regulatory documents for gas transported in gas supply networks and for gas mixtures that can be used in internal combustion engines. The information on the composition and quality of gas provided for in various regulatory documents was compared with the information obtained as a result of the studies of gas samples taken in the gas network. The proposed methodology allows us to calculate the composition of gas that will maximize the use of renewable energy sources (biogas, hydrogen). The resulting mixture will meet the regulatory requirements for gas quality for internal combustion engines, i.e. the requirements of DSTU GOST 27577:2005. It is recommended to additionally purify the network gas fuel and reduce the content of solid parts, liquid fractions, and sulfur to the standard values.

Key words: natural gas, gas quality, internal combustion engines, calorific value, gas composition