

УДК 621.43

DOI: 10.33868/0365-8392-2025-4-285-24-27

© Г. А. Філіпова, канд. техн. наук, професор,
 ORCID: 0000-0003-3427-7633,
 e-mail: galina_gaj@ukr.net;
 © В. В. Яновський, канд. техн. наук, доцент,
 ORCID:0000-0001-9437-4537,
 e-mail: yanovskyi_v@ukr.net;
 © В. В. Федоров, канд. техн. наук, доцент,
 ORCID:0000-0002-1085-5112,
 e-mail: fedorov.volodymyr@gmail.com;
 (Національний транспортний університет)

© Galyna Filipova, PhD, Professor,
 ORCID:0000-0003-3427-7633,
 e-mail: galina_gaj@ukr.net;
 © Vasyl Yanovsky, PhD, Associate Professor,
 ORCID:0000-0001-9437-4537,
 e-mail: yanovskyi_v@ukr.net;
 © Volodymyr Fedorov, PhD, Associate Professor,
 ORCID:0000-0002-1085-5112,
 e-mail: fedorov.volodymyr@gmail.com;
 (National Transport University)

ДО ОЦІНКИ ВПЛИВУ СТУПЕНЯ СТИСКУ НА ПОКАЗНИКИ ГАЗОВОГО ДВИГУНА

TO ASSESS THE IMPACT OF COMPRESSION RATIO ON GAS ENGINE PERFORMANCE

Анотація. Природний газ на сьогодні є найбільш реальним заміником рідких нафтових палив. Основними його перевагами є великі природні запаси, значно нижчі викиди забруднювальних речовин, а також високі антидетонаційні властивості. Але під час роботи на стиснутому природному газі потужність двигуна знижується на 15–20% через низьку енергоємність газоповітряної суміші та зменшення наповнення циліндрів повітрям, що призводить до зниження індикаторних та ефективних показників двигуна і внаслідок цього погіршення тягово-швидкісних властивостей та продуктивності газобалонних автомобілів. Високі антидетонаційні властивості природного газу дозволяють поліпшити індикаторні та ефективні показники двигуна під час роботи на природному газі підвищенням ступеня стиску ε . Проведені експериментальні дослідження двигуна 8Ч100/95 із різними значеннями ε в умовах роботи на стиснутому природному газі в усьому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів, які показали підвищення максимальної потужності двигуна та зменшення витрати палива за умови збільшення ступеня стиску. Зміна ε забезпечувалася використанням головок циліндрів із різними об'ємами камер згорання. Проаналізовано також вплив на екологічні показники двигуна оптимальних кутів випередження запалювання θ , які суттєво відрізняються для різних ε . Отримані залежності дозволяють провести подальші дослідження впливу ε на показники газового двигуна. Такі дослідження планується виконати на математичній моделі розрахунку робочого процесу в надпоршневій порожнині циліндра.

Ключові слова: стиснутий природний газ, газовий двигун, ступінь стиску, енергетичні показники, витрата палива, токсичність відпрацьованих газів.

Abstract. Natural gas is currently the most realistic substitute for liquid petroleum fuels. Its main advantages are large natural reserves, significantly lower emissions of pollutants, and high anti-knock properties. However, when operating on compressed natural gas, engine power is reduced by 15–20% due to the low energy density of the gas-air mixture and a decrease in the filling of the cylinders with air, which leads to a deterioration in the indicator and effective performance of the engine and, as a result, a deterioration in the traction and speed properties and performance of gas-powered vehicles. The high anti-knock properties of natural gas allow improving the indicator and effective performance of the engine when operating on natural gas by increasing the compression ratio. Experimental studies of the 8Ch100/95 engine with different values when operating on compressed natural gas in the entire range of speed and load modes were conducted, which showed an increase in maximum engine power and a decrease in fuel consumption with an increase in the compression ratio. The change was provided by the use of cylinder heads with different volumes of combustion chambers. The influence on the environmental performance of the engine of the optimal ignition advance angles, which differ significantly for different, was also analyzed. The obtained dependencies will allow further research into the influence on the performance of the gas engine. Such research is planned to be performed on a mathematical model of calculating the working process in the superpiston cavity of the cylinder.

Keywords: compressed natural gas, gas engine, compression ratio, energy performance, fuel consumption, exhaust gas toxicity.

Вступ

Серед основних переваг природного газу, які роблять його найбільш реальним

заміником рідких нафтових палив, варто виділити високі антидетонаційні властивості. Це дозволяє поліпшити ефективність робочого

процесу двигуна за рахунок підвищення ступеня стиску.

Основна частина

Аналіз шляхів підвищення ефективності використання стиснутого природного газу як моторного палива для двигунів автотранспортних засобів [1] показує, що найбільш широко природний газ застосовують на автомобілях із серійними бензиновими двигунами з додатково встановленою газовою системою живлення з можливістю працювати як на бензині, так і на газі. Хоча цей спосіб і має низку беззаперечних плюсів, однак його застосування не дозволяє повною мірою використовувати переваги високого октанового числа (понад 105 одиниць) природного газу.

Порівняльні дослідження автомобіля категорії N2 під час роботи на бензині і стиснутому природному газі в умовах міського руху [2] продемонстрували, що використання природного газу дає змогу зменшити сумарні (зведені до оксиду вуглецю CO) викиди на 8–20% за рахунок суттєвого (у 3,04–5,59 разів) зниження викидів CO. Викиди вуглеводнів C_mH_n , і оксидів азоту NO_x , а також паливна економічність за еквівалентною питомою витратою близькі в усьому діапазоні завантаження автомобіля.

Однак під час роботи на стиснутому природному газі потужність двигуна знижується на 15–20 % через низьку енергоємність газоповітряної суміші та зменшення наповнення циліндрів повітрям. Це призводить до зниження індикаторних та ефективних показників двигуна і внаслідок цього погіршення тягово-швидкісних властивостей та продуктивності газобалонних автомобілів.

Одним зі способів поліпшення індикаторних та ефективних показників двигуна під час роботи на природному газі є підвищення ступеня стиску ε .

Дослідження щодо впливу ступеня стиску на ефективні показники двигунів з іскровим запалюванням виконували чимало авторів [3]. Однак комплексна оцінка впливу збільшення ε на витрату палива та екологічні показники газового двигуна та газобалонного автомобіля в експлуатаційних умовах проводилась недостатньо.

Тому на першому етапі були проведені експериментальні дослідження ефективних та екологічних показників двигуна з іскровим запалюванням 8Ч100/95, конвертованого з бензинового для роботи на стиснутому природному газі, з різними значеннями ε ($\varepsilon = 6,5$; $\varepsilon = 7,1$ і $\varepsilon = 8,0$) під час роботи на стиснутому природному газі в усьому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів. Зміна ступеня стиску двигуна здійснювалася шляхом зміни головок циліндрів, камери згорання яких забезпечували відповідні значення ε .

Як приклад на **рис. 1** показані навантажувальні характеристики цього двигуна з різними ступенями стиску для частоти обертання $n_d = 2000 \text{ хв}^{-1}$.

Для визначення характеристик використовувались автоматизований гальмівний стенд SAK 670, комплекс газоаналізуючої апаратури (газоаналіз-затори 102ФА01М (CO, CH), INFRALYT-2T1(CO, CO₂), Sincro (CO, CO₂, CH, O₂), 344ХЛ-01 (NO_x)).

Витрата повітря вимірювалася ротаційним лічильником газу РГ-600.

Вимірювання витрати природного газу проводилося прямим шляхом за допомогою ротаційного лічильника газу РГ-40 із подальшим визначенням масової витрати зі зведенням до нормальних умов з урахуванням тиску та температури на вході до газового лічильника.

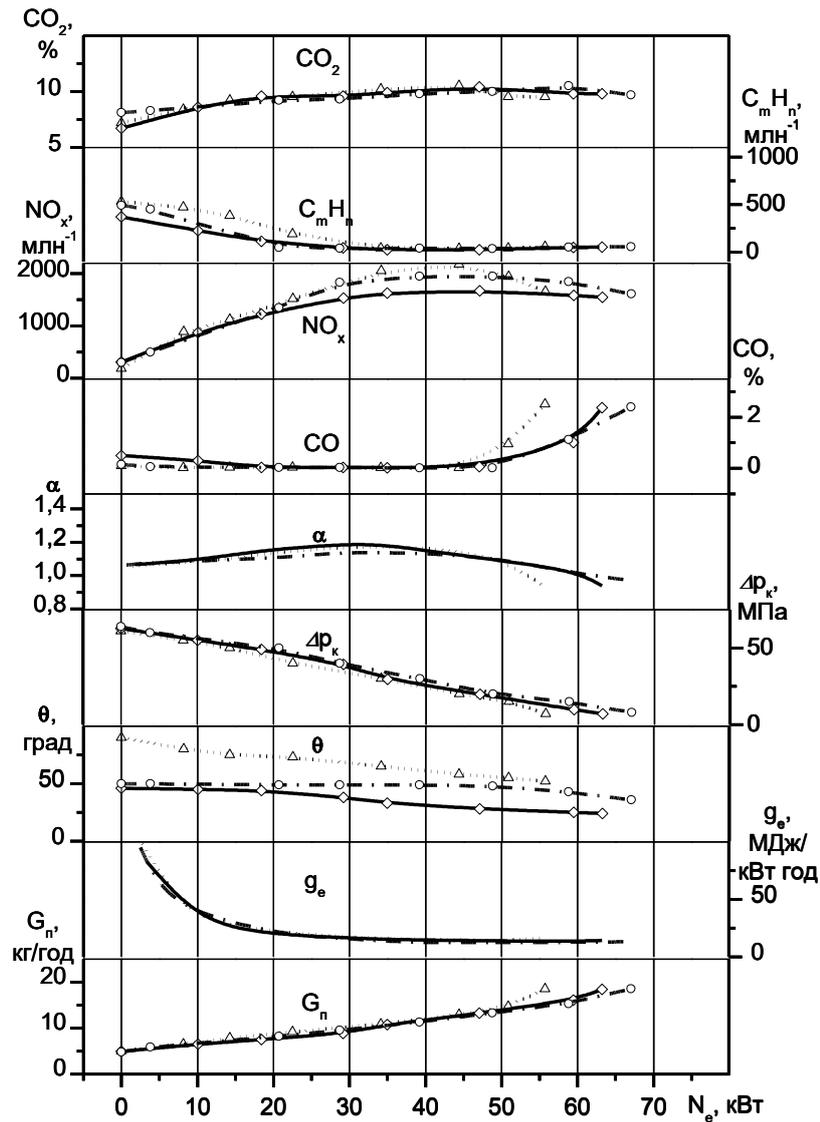


Рис. 1. Навантажувальні характеристики двигуна ВЧ 100/95
(..... $\varepsilon = 6,5$; — $\varepsilon = 7,1$; - · - $\varepsilon = 8,0$)

Як видно з **рис. 1**, збільшення ступеня стиску з 6,5 до 8,0 підвищує максимальну потужність двигуна на 19,3 %, водночас це підвищення не пропорційне ε : зі зміною ε з 6,5 на 7,1 максимальна потужність зростає на 11,8 %, тоді як збільшення ε з 7,1 до 8,0 призвело до зростання максимальної потужності на 7,5%. Очевидно, що, крім ступеня стиску, на ефективні та екологічні показники двигуна впливають інші фактори, зокрема форма камери згорання, а також конструктивні особливості головок циліндрів. Про це свідчить і той факт, що за умови однакового складу газоповітряної суміші значення оптимальних кутів

випередження запалювання θ суттєво відрізняються для різних ε .

Найбільші значення θ характерні для двигуна з $\varepsilon = 6,5$, що й обумовлює найвищі значення концентрацій оксидів азоту NO_x у відпрацьованих газах. Причиною підвищених концентрацій вуглеводнів $C_m H_n$ двигуна з $\varepsilon = 6,5$ також є більш раннє запалювання. Характер зміни вмісту інших продуктів згорання у відпрацьованих газах близький для всіх значень ε .

Концентрації забруднювальних речовин у відпрацьованих газах, витрати повітря і природного газу в навантажувальних режимах у діапазоні частот 1200–2800 $хв^{-1}$ описані

поліноміальними залежностями другого ступеня, визначеними за результатами експериментів, залежно від частоти обертання двигуна та розрідження у впускному трубопроводі.

Загальний вигляд поліноміальних моделей:

$$Y_i = c_0 + c_1 \cdot n_o + c_2 \cdot \Delta p_k + c_{11} \cdot n_o^2 + c_{22} \cdot \Delta p_k^2 + c_{12} \cdot \Delta p_k \cdot n_o$$

де c_{ij} – коефіцієнти поліноміальних моделей.

Як приклад у **табл. 1** наведені значення коефіцієнтів для показників газового двигуна з $\varepsilon = 7,1$.

Таблиця 1

Коефіцієнти поліноміальних моделей для розрахунку показників газового двигуна з $\varepsilon = 7,1$

Показник	Коефіцієнти						Середньоквадратичне відхилення σ
	c_0	c_1	c_2	c_{11}	c_{22}	c_{12}	
Витрата газу, кг/год	0,655	0,729 E-2	-0,806E-2	0,829E-6	0,849E-3	-0,134E-3	0,138
Витрата повітря, кг/год	-0,818E-2	0,145	0,669	0,713E-5	-0,310E-2	-0,201E-2	2,03
Концентрація							
CO , % $\Delta p_k = 20 \dots 60$ кПа	0,795	-0,438E-3	-0,216E-1	0,152E-6	0,244E-3	0,11E-6	0,024
CO , % $\Delta p_k = 8 \dots 20$ кПа	0,421	0,14E-2	0,622E-1	-0,179E-6	-0,595E-2	-0,257E-4	0,05
$C_m H_n$, млн ⁻¹	298,99	-0,253	-4,511	0,645 E-4	0,108	0,75E-3	3,23
NO_x , млн ⁻¹	982,86	0,199	29,06	-0,994E-5	-0,926	-0,297E-2	41,7
CO_2 , %	5,9	0.397E-2	-0,25E-1	-0,11E-5	-0,185E-2	-0,455E-4	0,173

Висновки

Отримані залежності дозволяють провести подальші дослідження впливу ε на показники газового двигуна. Такі дослідження планується виконати на математичній моделі розрахунку робочого процесу в надпоршневій порожнині циліндра.

References

1. Kanilo P. M., Bey I. C., Rovenskey O. I. (2000) Avtomobil' ta navkolyshnye seredovyshche. [The car and the environment]. Kharkiv, Prapor. 304.

2. Gytarevich U. F., Mateichik V. P., Klimenko O. I. (1997). Ekonomichni ta ekolohichni pokaznyky avtomobiliv pry zamini benzynu pryrodnym hazom. Systemni metody keruvannya, tekhnolohiya ta orhanizatsiya vyrobnytstva, remontu ta ekspluatatsiyi avtomobiliv, 3 [Economic and environmental performance of cars when replacing gasoline with natural gas. System management methods, technology and organization of production, repair and operation of cars, 3]. Kyiv, TAU, 47-50.

3. Wenpo L., Schafer H. J. (1982). Verbrauchreduzierung am Ottomotor durch Optimierung von Brennraumform und Verdichtungsverhältnis. MTZ, 7-8, 279–284.