

УДК 658.7; 518.874

**А. П. Поляков, д. т. н., проф.; Б. С. Маріянюк****ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НА ПОКАЗНИКИ ГАЗОДИЗЕЛЯ  
ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯМ  
ГАЗОВИПУСКНОГО ПРИСТРОЮ**

*У статті наведено дані щодо ефективності застосування на газодизельних двигунах газопускного пристрою. Наведено математичні розрахунки циклів для дизельного і газодизельного двигунів без і з газопускним пристроєм.*

**Ключові слова:** газодизельний двигун, природний газ, системи живлення, сумішоутворення, газопускний пристрій.

Одним із завдань, під час створення нових транспортних засобів або модернізації наявних є зменшення експлуатаційних витрат. На думку фахівців, одним із напрямів зменшення експлуатаційних витрат транспортних засобів є використання альтернативних, більш дешевих видів палива. Природний газ – реальна альтернатива рідким моторним паливам [1].

Використання природного газу в якості моторного палива дозволить здійснити необхідну кількість перевезень без зміни експлуатаційних витрат, крім того це дозволить вивільнити значну кількість рідкого палива для інших потреб держави.

Застосування природного газу в якості моторного палива на двигунах з іскровим запаленням не потребує зміни конструкції двигуна, але призводить до зменшення його потужності, що неприпустимо для транспортних засобів.

Найдоцільніше застосовувати природний газ на дизелях транспортних засобів, але температура запалення природного газу вища, ніж у дизельного пального, що зумовлює або встановлення на дизелі додаткової системи запалення, що змінює конструкцію двигуна, або подачу в циліндри двигуна незначної частки дизельного палива в якості запальної дози.

Інший спосіб більш доцільний, оскільки за його реалізації в конструкцію двигуна не потрібно вносити зміни, при цьому двигун зберігає властивість повноцінно працювати на одному рідкому паливі.

Аналіз наявних систем живлення дизелів газовим паливом із зовнішнім сумішоутворенням показав, що транспортні засоби, які обладнані дизелем із системою живлення з подачею газу у впускний колектор двигуна під надлишковим тиском, мають вищі динамічні, економічні та екологічні показники порівняно з транспортними засобами, які обладнані дизелем із системою живлення з подачею газу у впускний колектор двигуна під розрідженням.

Основними недоліками наявної системи живлення дизеля газовим паливом з подачею газу у впускний колектор двигуна під надлишковим тиском є складність забезпечення однорідності газоповітряної суміші та нерівномірний її розподіл по циліндрах двигуна, тому для розв'язання цього питання необхідно поставити завдання щодо вдосконалення системи живлення двигуна газовим паливом з метою покращення процесу сумішоутворення у впускному колекторі газодизельного двигуна.

Процес сумішоутворення значно впливає на робочий цикл двигуна [1]. За його покращення підвищується швидкість згорання, повнота згорання палива і, як наслідок, підвищується економічність циклу. Цього досягають завдяки тому, що в циліндри двигуна буде потрапляти готова гомогенна суміш, яка виключить час змішування повітря та газу в самому циліндрі та збільшить швидкість і повноту протікання хімічної реакції згорання газоповітряної суміші.

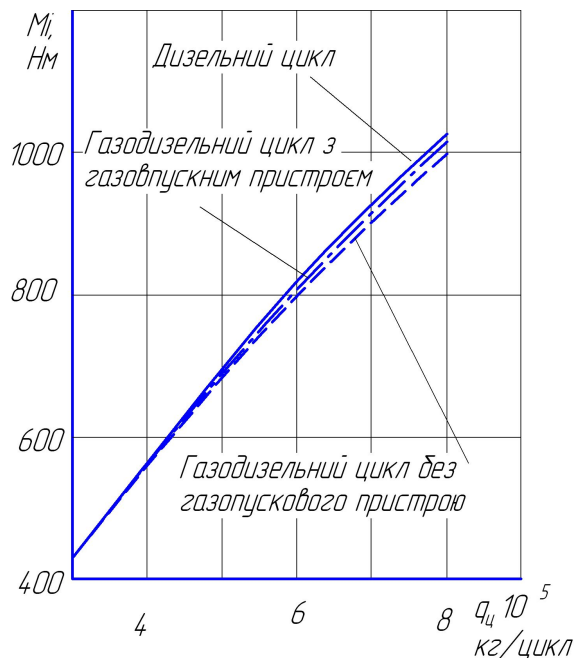
Необхідно зазначити, що у продуктах неповного згорання більшою мірою виявляють

незгорілий метан, ніж окис вуглецю. Вміст у продуктах горіння природного газу 1 % метану свідчить про втрати тепла внаслідок хімічної неповноти згорання  $q_3$  (близько 10 %) [1].

Під час розгляду питання змішування повітря та газу в газодизелі використано теорію і практику спалювання газу в паливнях і печах промислових установок. Форма впускного колектора двигуна ідентична змішувачу паливневого пальника, тому і сам процес змішування можна вважати ідентичним, отже, способи, що застосовують для пальникових пристроїв з метою поліпшення сумішоутворення, можна використовувати в двигунах внутрішнього згорання.

Дослідження довели, що на якість змішування потоків повітря та газу впливає низка різноманітних чинників, з урахуванням яких було розроблено методику визначення мінімальної зони змішування повітря та газу у впускному колекторі газодизеля [4]. Був розроблений газовпускний пристрій, який пропонуємо використовувати замість звичайної форсунки подачі газу у впускний колектор. Завдяки аналізу результатів проведених досліджень встановлено, що для повного змішування повітря та газу на мінімальній відстані у впускному колекторі газодизеля ЯМЗ-238 необхідно використовувати газовпускний пристрій з чотирма отворами для витікання газу, діаметр яких складає 7,4 мм і які розташовані один проти одного. За такої кількості та такого діаметру газових сопел у газовипускному пристрої відбувається рівномірний розподіл природного газу як по блокам газодизеля, так і по циліндрам, зона змішування при цьому складає 270 мм замість 1356 мм (майже в 4 рази менша). Це дозволяє використовувати запропоновану систему живлення на транспортних засобах без конструктивних змін впускної системи двигуна. Було запропоновано методику, яка дозволяє визначити конструктивні особливості форсунки подачі газу та місце установки пристрою для подачі газу у впускний колектор газодизельного двигуна.

Для перевірки працездатності цього пристрою були проведені експериментальні дослідження вдосконаленої системи живлення з газовпускним пристроєм на газодизельному двигуні ЯМЗ-238.



----- - дизельний цикл; - - - - - - - газодизельний цикл;  
 - - - - - - - газодизельний цикл з газовипускним пристроєм

Рис. 1. Залежність індикаторного крутного моменту  $M_i$  газодизеля ЯМЗ-238ГД від сумарної циклової подачі палива

Під час проведення експерименту, відповідно до ДСТУ 14846-81 [2], знімали зовнішню і часткові швидкісні та навантажувальні характеристики двигуна під час роботи за дизельним та газодизельним циклами.

Щодо навантажувальних характеристик двигуна, то досліджуючи їх обчислювали значення індикаторного крутного моменту  $M_i$  за визначених частот обертання колінчастого валу газодизеля, які були в робочому діапазоні швидкісних режимів двигуна. Аналіз навантажувальних характеристик показує, що індикаторний момент двигуна із запропонованою системою живлення вище індикаторного моменту двигуна з наявною системою живлення до 2,8 % залежно від сумарної циклової подачі палива  $q_{\text{сум}}$  (рис. 1).

Під час проведення експериментальних досліджень другий ступінь редуктора низького тиску був налаштований на початковий тиск  $p_{2\text{поч}}=104$  кПа [4]. Сумарну циклову подачу  $q_{\text{сум}}$  газу та дизельного палива налаштовували так, щоб номінальна потужність газодизеля дорівнювала потужності базового дизеля ЯМЗ-238.

Запальна доза дизельного палива була прийнята такою, що дорівнює 30 % від номінальної подачі дизельного палива під час роботи газодизеля за дизельним циклом, оскільки за таких значень відбувається стабільна подача дизельного палива на низьких частотах обертання колінчастого валу двигуна.

Характеристика індикаторного обертального моменту  $M_i$  газодизеля під час роботи за газодизельним циклом з газовпускним пристроєм була апроксимована поліномом третього ступеня:

$$M_i = 96,7757448 + 104,2831671q_{\text{ц}} + 5,7450358q_{\text{ц}}^2 - 0,5299496q_{\text{ц}}^3;$$

де  $q_{\text{ц}}$  – подача палива на цикл.

Температура відпрацьованих газів  $Tr$ , що виходили з лівого та правого блоків циліндрів, під час проведення експериментальних досліджень залишалася практично однаковою, що свідчить про рівномірний розподіл природного газу газовпускним пристроєм по блоках циліндрів газодизеля.

Характеристика температури відпрацьованих газів газодизеля під час роботи за газодизельним циклом з газовпускним пристроєм була апроксимована поліномом другого ступеня:

$$Tr = 432,3274 + 0,30225n_{\text{д}} + 10,47061q_{\text{сум}} - 0,001n_{\text{д}}^2 - 0,09027q_{\text{сум}}^2 + 0,000617n_{\text{д}}q_{\text{сум}};$$

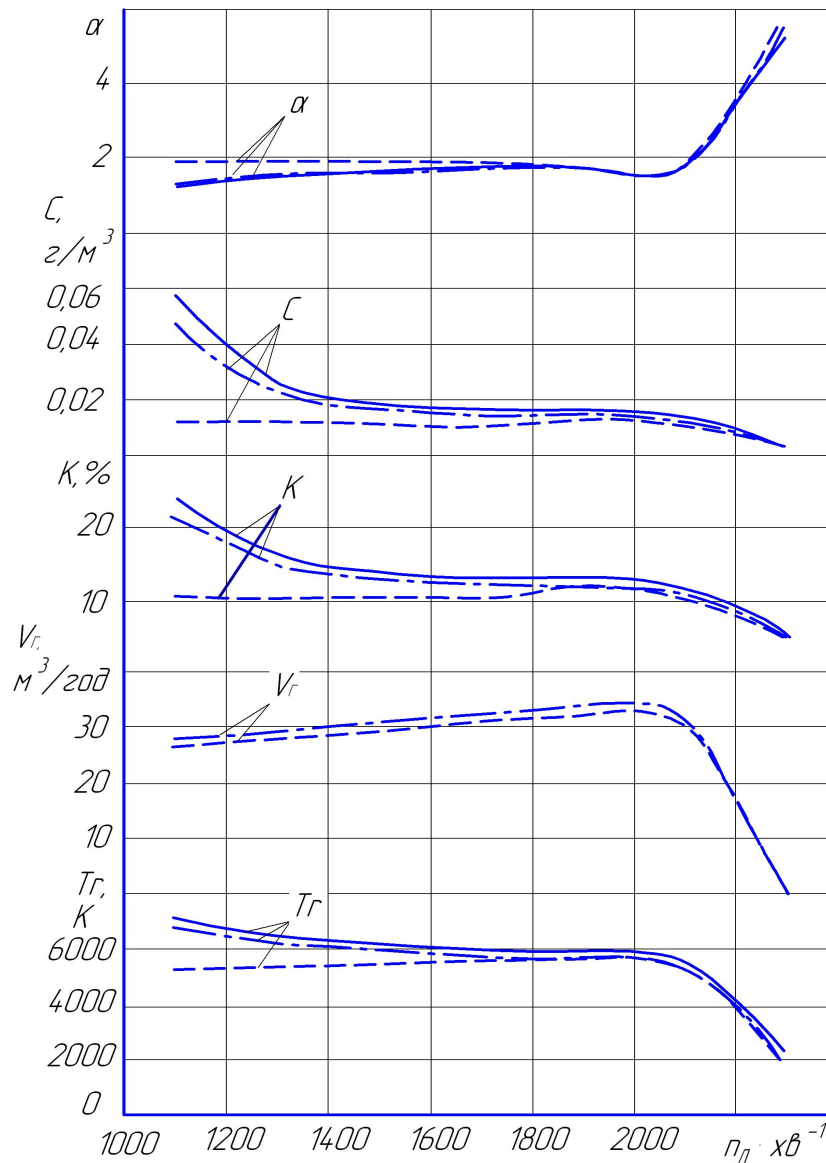
де  $q_{\text{сум}}$  – сумарна циклова подача палива;  $n_{\text{д}}$  – частота обертання колінчастого валу.

Ці рівняння використовували в математичній моделі “Транспортний засіб – навколишнє середовище”, в основу якої покладена математична модель системи “Водій – автомобіль – дорога – навколишнє середовище” [3]. Математична модель системи “Транспортний засіб – навколишнє середовище” дозволяє досліджувати як показники роботи двигуна, так і показники руху транспортного засобу в умовах експлуатації, проводити дослідження щодо впливу на динамічні, економічні та екологічні показники транспортного засобу модернізації системи живлення.

Основною відмінністю математичної моделі системи “Транспортний засіб – навколишнє середовище” від математичної моделі системи “Водій – автомобіль – дорога – навколишнє середовище” є те, що в математичну модель підсистеми “Газодизель із системою регулювання частоти обертання колінчастого валу” були внесені отримані рівняння температури відпрацьованих газів  $Tr$  індикаторного обертального моменту двигуна  $M_i$ , імперичне рівняння коефіцієнта витрати дозатора газу, а також було включено блок визначення мінімальної зони змішування повітря та газу у впускному колекторі двигуна, що дозволяє досліджувати динамічні, економічні та екологічні показники транспортного засобу з удосконаленою системою живлення.

Аналіз результатів розрахункового дослідження показав (рис. 2), що під час використання вдосконаленої системи живлення двигуна природним газом із газовпускним пристроєм

порівняно із системою живлення двигуна природним газом без газовпускового пристрою зменшуються витрати природного газу на 4,2 % за збереження однакових показників потужності, що призводить до збільшення коефіцієнта надлишку повітря на 4,3 %, а в суміші з дизельним паливом до 3,4 %, у результаті цього температура відпрацьованих газів зменшилася на 1,9 %, їхня димність на – 6,7 %, а концентрація сажі на – 12,8 %.



----- дизельний цикл;

———— газодизельний цикл без газовпускового пристрою;

----- газодизельний цикл з газовпусковим пристроєм

Рис. 2. Залежності коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$ , димності  $K$  та концентрації сажі  $C$  у відпрацьованих газах, температури відпрацьованих газів  $T_g$  та витрати газу  $V_g$  від частоти обертання колінчастого вала  $n_d$  газодизеля ЯМЗ-238

Дослідження динамічних показників транспортного засобу з газодизелем довели, що під час здійснення розгону машини на дорозі з асфальтобетонним покриттям до швидкості 60 км/год. витрати палива для машини з масою 16 000 кг зменшились на 4,3 %, шлях за час розгону зменшився на 4,5 %. При цьому екологічні показники покращилися в середньому на

4,6 %.

Підвищення енергетичних і економічних показників газодизеля транспортного засобу зумовлене покращенням показників робочого циклу, що, у свою чергу, зумовлено більш повним перемішуванням повітря та газу у впускному колекторі двигуна.

Отже, ґрунтуючись на отриманих результатах, можна зробити висновок про підвищення тягово-динамічних, економічних та екологічних показників транспортних засобів з газодизелем з удосконаленою системою живлення за використання газовпускного пристрою.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Авдеев А. В. Контроль сжигания газообразного топлива / Авдеев А. В. – М.: Энергия, 1975. – 254 с.
2. ГОСТ 14846-81 (СТ СЭВ 765-77). Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. – [Чинний від 1982-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 55 с.
3. Математическая модель системы “Водитель – автомобиль с газодизелем – дорога – окружающая среда” / К. Е. Долганов, А. П. Поляков, З. И. Краснокутская [та ін.] // Укр. трансп. ун-т. – Киев. – 1996. – 39 с.
4. Поляков А. П. Експериментальні дослідження дозатора газу / А. П. Поляков, М. М. Мартиненко // Збірник наукових праць ЦНДІ ОВТ ЗСУ. – 2002. – Випуск 11. – С. 187 – 191.

**Поляков Андрій Павлович** – д. т. н., професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, тел.. 098-905-26-11.

**Маріянюк Богдан Сергійович** – студент інститута машинобудування та транспорту.  
Вінницький національний технічний університет.

**A. P. Poliakov, Dc. Sc. (Eng.), Prof.; B. S. Maryanko**

## **STUDY OF THE INFLUENCE OF IMPROVED POWER SUPPLY SYSTEM, BY THE APPLICATION OF GAS INTAKE DEVICE, ON THE GAS DIESEL ENGINE INDICES**

*The paper gives data on the efficiency of the gas intake device application in gas-diesel engines. Mathematical calculations of the cycles are presented for diesel and gas-diesel engines with gas intake device and without it.*

**Keywords:** *gas-diesel engine, natural gas, power supply system, carburation, gas intake device.*

Reduction of operating costs is one of the tasks in the creation of new transport means or in modernization of the existing ones. Experts believe that one of the trends towards operating cost reduction is application of cheaper alternative fuel types. Natural gas is a real alternative to the liquid motor fuel [1].

Application of natural gas as a motor fuel will make it possible not only to realize the required number of transportations without changing operating costs but also to save a considerable amount of liquid fuel to be used for other needs of the country.

Natural gas application as a motor fuel in spark-ignition engines does not require design modifications but causes its power reduction, which is unacceptable for transport means.

Natural gas is the most expedient to be used in the vehicle diesel engine but the temperature of natural gas ignition is higher than that of diesel fuel, which requires either installation of an additional ignition system, which causes engine design modification, or supplying an inconsiderable amount of diesel fuel as ignition dose to the cylinders.

The second method is more expedient to be used as its implementation does not require engine design modifications while the engine maintains the ability of adequate operation only on a liquid fuel.

The analysis of the existing diesel gas supply systems with external carburation has shown that vehicles equipped with diesel power system, where gas is supplied to the inlet manifold under excessive pressure, have higher dynamic, economic and ecological indicators compared to the vehicles equipped with the diesel power system where gas is supplied to the inlet manifold of the engine under vacuum.

The main disadvantage of the existing diesel power system with gas supplied to the inlet manifold of the engine under excessive pressure is the difficulty of providing homogeneity of the gas-air mixture and also its uneven distribution between engine cylinders. Therefore, to solve this problem, it is necessary to improve gas fuel power supply system of the engine in order to provide better carburation process in the inlet manifold of a gas-diesel engine.

Carburation process has significant influence on the engine power cycle [1]. Its improvement results in the increased fuel combustion speed, higher combustion efficiency and, consequently, in the increased economic efficiency of the cycle. This is achieved by means of engine cylinders receiving ready homogenous mixture. Therefore, no time is needed for mixing air and gas in the cylinder itself, which will increase the speed and completeness of the chemical reaction of gas-fuel mixture combustion.

It should be noted that unburned methane is found in the products of incomplete combustion rather than carbon oxide. 1 % natural gas content in the natural gas combustion products is determined by heat losses caused by about 10% chemical incompleteness of  $q_3$  combustion [1].

When considering the issue of mixing gas and air in gas diesel engines, the theory and practice of gas combustion in burners and furnaces of industrial plants was used. The form of inlet manifold is identical to that of the furnace burner mixer, and so the actual mixing processes could be considered to be identical. Hence, the methods used for burner devices in order to improve carburetion could be

also used in internal combustion engines.

The research has proved that carburation quality is influenced by a number of various factors that were taken into account in development of the procedure for determining the minimal zone of mixing gas and air in the inlet manifold of a gas-diesel engine [4]. The developed gas intake device is proposed to be used instead of the common nozzle for supplying gas to the inlet manifold. The analysis of the research results has shown that for complete mixing of gas and air at the minimal distance in the inlet manifold of gas diesel engine ЯМЗ-238 it is necessary to use a gas intake device having four openings with the diameters of 7.4 mm located one opposite to another. Such number and diameter of the gas nozzles provides uniform distribution of the natural gas both between the units of the gas-diesel engine and between the cylinders, mixing zone being 270 mm instead of 1356 mm (almost 4 time reduction). This allows application of the proposed power supply system in the transport means without design modifications of the engine intake system. The proposed procedure makes it possible to determine special features of the gas supply nozzle and installation place of the device for supplying gas to the inlet manifold of the gas-diesel engine.

For checking operability of such arrangement experimental studies of the improved power supply system with gas intake device have been performed using gas diesel engine ЯМЗ-238.

During the experiment performed in accordance with ДСТУ 14846-81 [2] external and partial speed as well loading characteristics of the engine were registered for diesel and gas-diesel cycles operation.

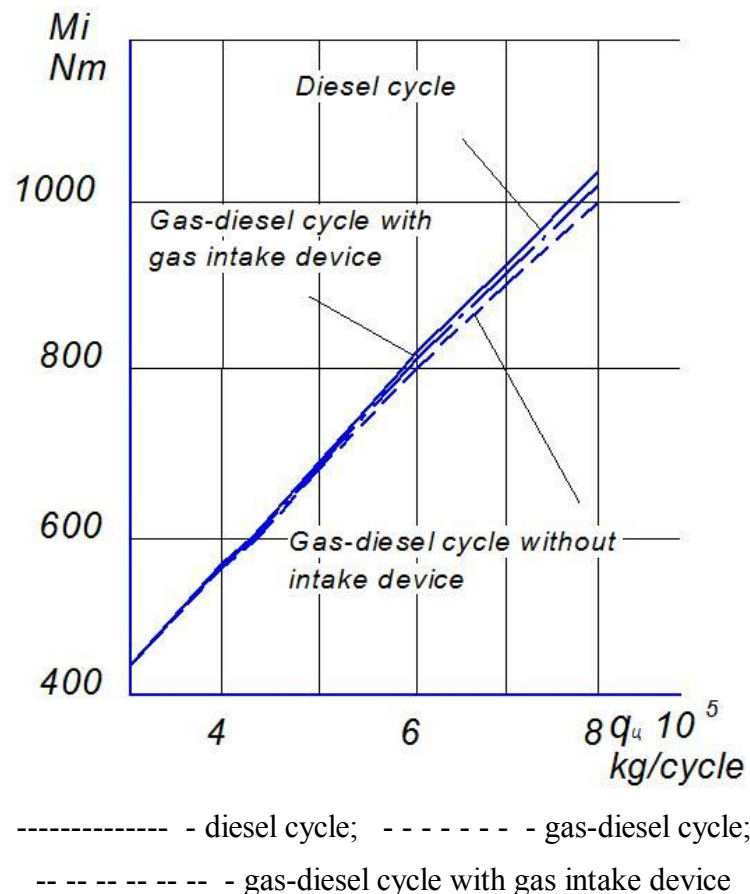


Fig. 1. Dependence of the indicator torque  $M_i$  of gas diesel engine ЯМЗ-238ГД on the total cyclic fuel supply

As far as engine loading characteristics are concerned, during their investigation the values of the indicator torque  $M_i$  were calculated for the determined rotation speed of the crankshaft of the gas diesel engine, which were in the range of the engine speed modes. The analysis of loading characteristics shows that indicator torque of the engine with the proposed power system is up to 2,8 % higher than that of the engine with the existing power system depending on the total cyclic fuel

supply  $q_{total}$  (Fig. 1).

During experimental studies second stage of the low-pressure reducer was set for the initial pressure  $p_{2in}=104$  KPa [4]. Total cycle supply  $q_{total}$  of gas and diesel fuel was adjusted so that nominal power of the gas diesel engine would be equal to the power of the base diesel ЯМЗ-238.

Ignition dose of the diesel fuel was taken to be 30 % from the nominal diesel fuel supply during gas-diesel engine operation according to diesel cycle as this value provides stable diesel fuel supply at low rotation speed of the engine crankshaft.

Characteristic of the indicator torque  $M_i$  of the gas-diesel engine during gas-diesel cycle operation with gas intake device was approximated by the polynomial of the third degree:

$$M_i = 96.7757448 + 104.2831671q_c + 5.7450358q_c^2 - 0.5299496q_c^3;$$

where  $q_c$  – per cycle fuel supply.

Temperature  $Tr$  of the exhaust gases coming out of the left and right cylinder block remained almost the same during experimental studies, which indicates a uniform natural gas distribution between cylinder blocks of the gas-diesel engine by the gas intake device.

Temperature characteristic of the exhaust gases of the gas-diesel engine during gas-diesel cycle operation with gas intake device was approximated by the polynomial of the second degree:

$$Tr = 432.3274 + 0.30225n_{eu} + 10.47061q_{total} - 0.001n_{eu}^2 - 0.09027q_{total}^2 + 0.000617n_{eu}q_{total};$$

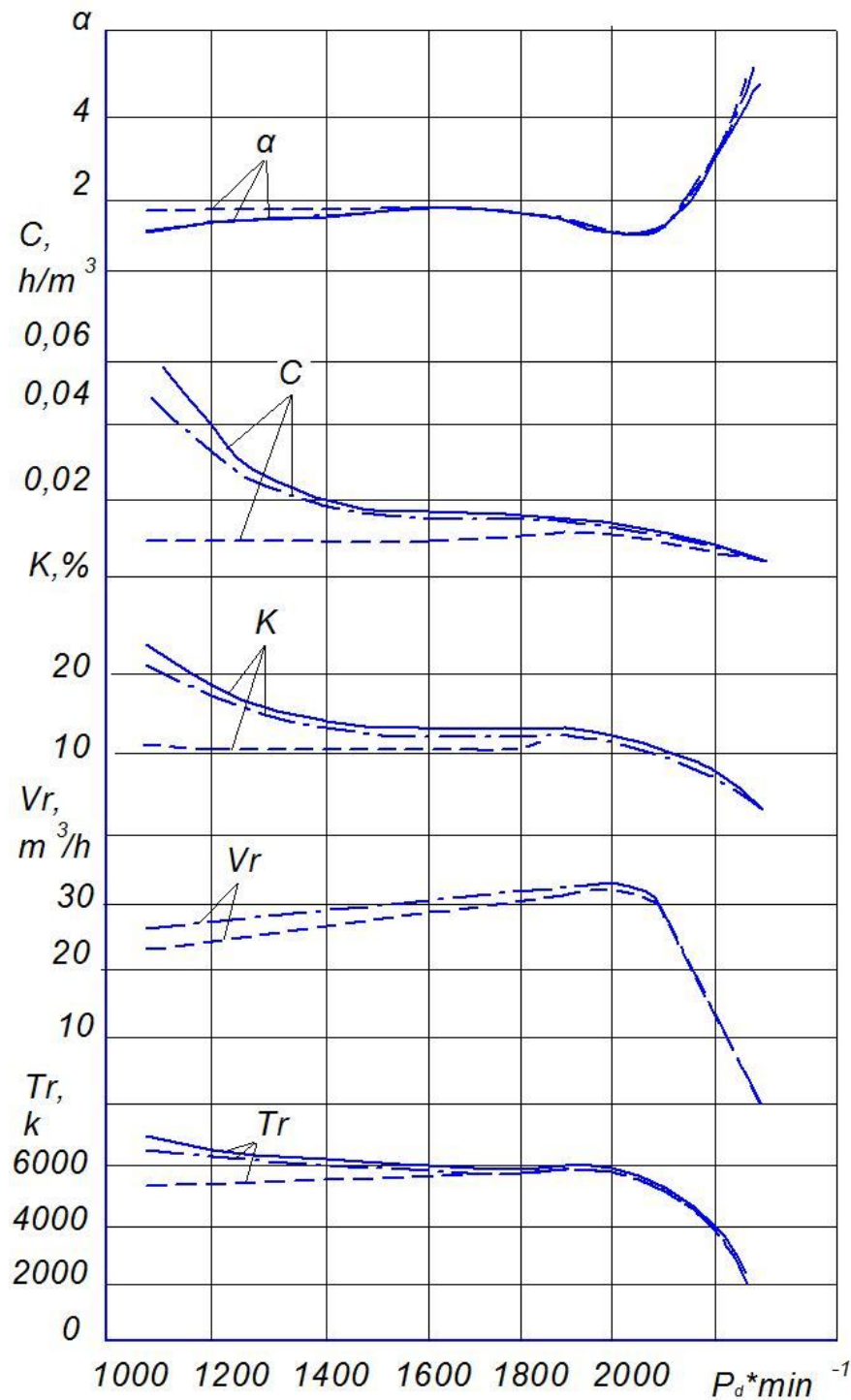
where  $q_{total}$  – total cyclic fuel supply;  $n_{eu}$  – rotation speed of the crankshaft.

These equations were used in the mathematical model of the “vehicle – environment” system based on the mathematical model of the “driver – automobile – road – environment” system [3]. Mathematical model of the “vehicle – environment” system makes it possible to investigate both engine operation indicators and vehicle speed indicators in operating conditions as well as to study the influence of the modernized power supply system on dynamic, economical and ecological performance of the vehicle.

Main difference of the “vehicle – environment” system mathematical model from the mathematical model of the “driver – automobile – road – environment” system is as follows: to the mathematical model of the subsystem “gas-diesel engine with crankshaft rotation speed control system” the obtained equations were introduced: of the exhaust gas temperature  $Tr$ , indicator torque  $M_i$  of the engine, empirical equation of the metering valve flow coefficient as well as a unit of determining the minimal air-gas mixing zone in the inlet manifold of the engine. This makes it possible to investigate dynamic, economic and ecological performance of the vehicle with the improved power supply system.

Analysis of the computational research results has shown (Fig. 2) that application of the improved engine power system of natural gas supply with the gas intake device provides 4.2 % reduction of natural gas consumption compared with that without gas intake device, power indicators being the same. This leads to 4.2 % increase of the air excess factor and to 3.4 % increase of the air excess factor in the mixture with diesel fuel, which results in 1.9 % reduction of the exhaust gas temperature, 6.7 % reduction of its smokiness and 12.8 % reduction of soot concentration.





- diesel cycle;  
 ——— gas-diesel cycle without gas intake device;  
 - · - · - gas-diesel cycle with gas intake device

Fig. 2. Dependencies of the excess air factor  $\alpha$ , smokiness  $K$  and soot concentration in the exhaust gas  $C$ , exhaust gas temperature  $Tr$  and gas consumption  $V_g$  on the crankshaft rotation speed  $n_d$  of gas-diesel engine ЯМЗ-238

Investigation of the dynamic performance of the vehicle with a gas-diesel engine has proved that when a car is accelerated to the speed of 60 km / hour on the road with asphalt concrete pavement fuel consumption for the car with the mass of 16 000 kg is reduced by 4.3 %, acceleration path is reduced by 4.5 %. Environmental indicators have been improved by 4.6 % on the average.

Energy and economic indicators of the vehicle gas-diesel engine were improved due to the better power cycle indicators, which is the result of the increased completeness of mixing gas and air in the engine intake manifold.

Thus, on the basis of the obtained results we can draw a conclusion that traction-dynamic, economic and ecological performance of the vehicles with a gas-diesel engine equipped with the power supply system that includes gas intake device can be improved.

#### REFERENCES

1. Авдеев А. В. Контроль сжигания газообразного топлива / Авдеев А. В. – М.: Энергия, 1975. – 254 с.
2. ГОСТ 14846-81 (СТ СЭВ 765-77). Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. – [Чинний від 1982-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 55 с.
3. Математическая модель системы “Водитель – автомобиль с газодизелем – дорога – окружающая среда” / К. Е. Долганов, А. П. Поляков, З. И. Краснокутская [та ін.] // Укр. трансп. ун-т. – Киев. – 1996. – 39 с.
4. Поляков А. П. Экспериментальні дослідження дозатора газу / А. П. Поляков, М. М. Мартиненко // Збірник наукових праць ЦНДІ ОБТ ЗСУ. – 2002. – Випуск 11. – С. 187 – 191.

***Poliakov Andriy*** – Dc. Sc. (Eng.), Prof. with the Department of Automobiles and Transport Management, tel. 098-905-26-11.

***Maryanko Bogdan*** – Student.  
Vinnytsia National Technical University.