

ПОЛІПШЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ДВИГУНА З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ У РЕЖИМАХ ПОВНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ДОБАВКОЮ ЗАКИСУ АЗОТУ ДО ПОВІТРЯНОГО ЗАРЯДУ

¹Національний транспортний університет

²Державне підприємство «Державний автотранспортний науково-дослідний і проєктний інститут»

У статті наведені результати теоретичних досліджень впливу методу підвищення енергетичних показників на паливну економічність двигуна з іскровим запалюванням, зворотним зв'язком і каталітичним трикомпонентним нейтралізатором у режимах повних навантажень. Відомо кілька методів підвищення енергетичних показників двигунів з іскровим запалюванням для отримання високих енергетичних показників. Найбільш використовуваним є збагачення в режимах повних навантажень складу паливо-повітряної суміші. Цей метод має низку недоліків, основними з яких є погіршення паливної економічності і неефективна робота каталітичного нейтралізатора. Відомий метод підвищення енергетичних показників двигунів з іскровим запалюванням добавкою кисневмісних газів, зокрема закису азоту до повітряного заряду, в якому кисень за об'ємом становить 33 %, що значно більше порівняно з повітрям (21 %). Цей метод широко використовують для форсування двигунів спортивних автомобілів. Проте досліджень щодо впливу цього методу на паливну економічність двигуна й оцінки в зіставленні з методом збагачення паливо-повітряної суміші в літературі не встановлено. Поліпшити паливну економічність двигуна без погіршення енергетичних показників можна переходом від роботи на збагачених бензоповітряних сумішах до роботи на стехіометричній суміші добавкою закису азоту до повітряного заряду двигуна. Цю задачу вирішували в статті розрахунками з використанням експериментальних даних. Паливну економічність оцінювали порівнянням питомої ефективної витрати бензину, визначеної за роботи двигуна при використанні збагаченої паливо-повітряної суміші і добавці закису азоту до повітряного заряду регулюванням на стехіометричну суміш. Показано, що при використанні добавки закису азоту до повітряного заряду двигуна можливо поліпшити паливну економічність та підвищити енергетичні показники двигуна з системою впорскування бензину порівняно з методом збагачення паливо-повітряної суміші.

Ключові слова: двигун з іскровим запалюванням, паливна економічність, закис азоту, повне навантаження, збагачена паливо-повітряна суміш, стехіометрична суміш.

Вступ

Відомо, що основними режимами роботи транспортних, зокрема автомобільних, двигунів в умовах експлуатації є режими часткових навантажень і холостого ходу. Водночас, як показують дослідження [1], в умовах інтенсивного міського руху в процесах розганянь, обгонів, зміни ряду руху часто використовують режими повних навантажень двигунів. Для підвищення енергетичних показників у цих режимах використовують різні методи. Відомі основні недоліки роботи двигунів з іскровим запалюванням на багатих паливо-повітряних сумішах: погіршення паливної економічності та зниження ефективності каталітичної нейтралізації. Одним із відомих напрямів підвищення енергетичних показників, в якому відсутні ці недоліки, є використання добавки до повітряного заряду кисневмісного газу, зокрема закису азоту. Цей метод широко використовують у двигунах спортивних автомобілів, відомі приклади його використання на серійних автомобілях. Провести експериментальні дослідження цього методу з визначенням його впливу на енергетичні показники, паливну економічність, екологічні показники досить складно. Більш доцільно на першому етапі провести теоретичні дослідження з використанням експериментальних даних, отриманих на сучасному двигуні з системою впорскування бензину, зворотним зв'язком і каталітичним нейтралізатором. Таким двигуном обрали вітчизняний двигун МеМЗ-307. Проведені дослідження з використанням різних кисневмісних газів [2], [3], [4] підтвердили можливість підвищення енергетичних показників двигунів. Одним із кисневмісних газів, який широко використовують для підвищення енергетичних показників двигунів з іскровим запалюванням, є закис азоту, в якому кисень за об'ємом становить 33 % (у повітрі приблизно 21 %). На сьогодні добавку закису азоту широко використовують у двигунах спортивних автомобілів. Дослідження двигунів серійних і спортивних автомобілів показали можливість значного

підвищення енергетичних показників [5]. Широке теоретичне й експериментальне дослідження впливу добавки закису азоту до повітряного заряду автомобільного карбюраторного двигуна проведені в роботі [6]. У проведених дослідженнях основна увага приділялася впливу добавки кисневмісних газів на енергетичні показники двигунів з іскровим запалюванням.

Теоретичні дослідження робочого циклу двигуна з використанням експериментально визначених індикаторних діаграм показали, що при сталій частоті обертання при повністю відкритій дросельній заслінці карбюратора збіднення паливо-повітряної суміші добавкою закису азоту до повітряного заряду від $\alpha = 0,888$ до стехіометричної ($\alpha = 1,0$) середній індикаторний тиск зростає на 9,3 %. Експериментальні дослідження двигуна показали, що добавка закису азоту до повітря в кількості приблизно 12 % по об'єму збільшує ефективний крутний момент двигуна по швидкісній зовнішній характеристиці в середньому на 7,4 %, порівнюючи з роботою на збагаченій суміші.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що при переході зі збагаченої на стехіометричну суміш, за умови необхідної для цього добавки закису азоту до повітряного заряду, покращується паливна економічність в середньому на 5 % [6].

Однак у літературних джерелах не виявили результатів досліджень впливу добавки закису азоту до повітряного заряду на показники, зокрема на паливну економічність двигуна із системою впорскування бензину, зворотним зв'язком і каталітичним нейтралізатором. У цих двигунах підвищення енергетичних показників у режимах повних навантажень отримують збагаченням паливо-повітряної суміші. Тому науковий і практичний інтерес має задача порівняння методів підвищення енергетичних показників добавкою закису азоту до повітряного заряду і збагаченням паливо-повітряної суміші та їх впливу на паливну економічність двигуна.

Метою дослідження є оцінювання паливної економічності двигуна з іскровим запалюванням із системою впорскування бензину, зворотним зв'язком і каталітичним нейтралізатором за роботи з повним навантаженням при добавці закису азоту до повітряного заряду і при використанні збагаченої паливо-повітряної суміші.

Результати досліджень

При дослідженні методу поліпшення показників двигунів з іскровим запалюванням добавкою закису азоту до повітряного заряду основну увагу приділяють підвищенню енергетичних показників. Водночас одним із важливих питань є дослідження паливної економічності при використанні цього методу. Як об'єкт теоретичних та експериментальних досліджень обрали вітчизняний двигун МеМЗ-307 (рис. 1).

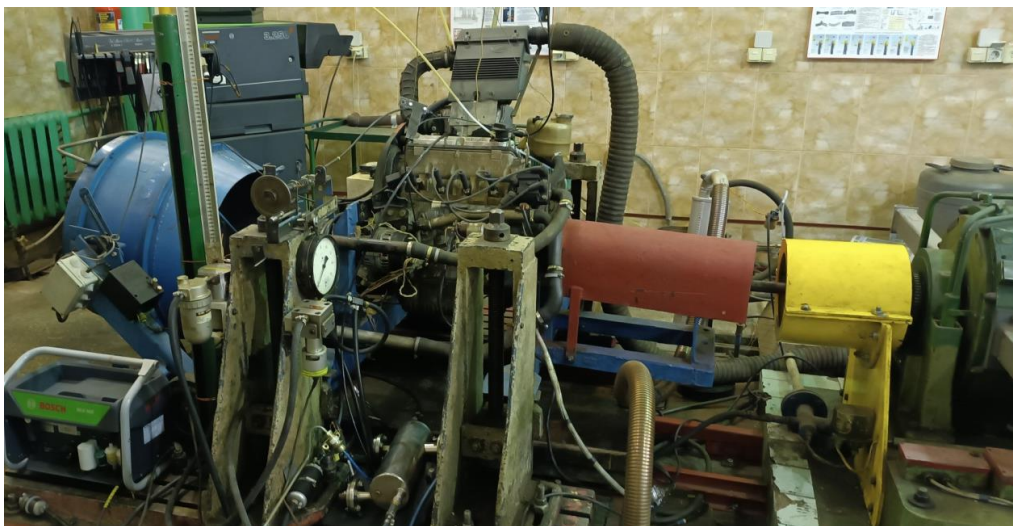


Рис. 1. Експериментальна установка на базі двигуна МеМЗ-307

Двигун чотирициліндровий із системою розподіленого впорскування бензину, зворотним зв'язком і каталітичним трикомпонентним нейтралізатором «LINDA GOBEX», робочий об'єм двигуна 1,3 л, потужність 51 кВт при 5800 хв^{-1} , крутний момент 107,8 Нм при $3000\text{--}3500 \text{ хв}^{-1}$.

Показники двигуна за роботи з повним навантаженням, які використовували в подальших дослідженнях, визначили за роботи двигуна по швидкісній зовнішній характеристиці двигуна у комплектації нетто (рис. 2).

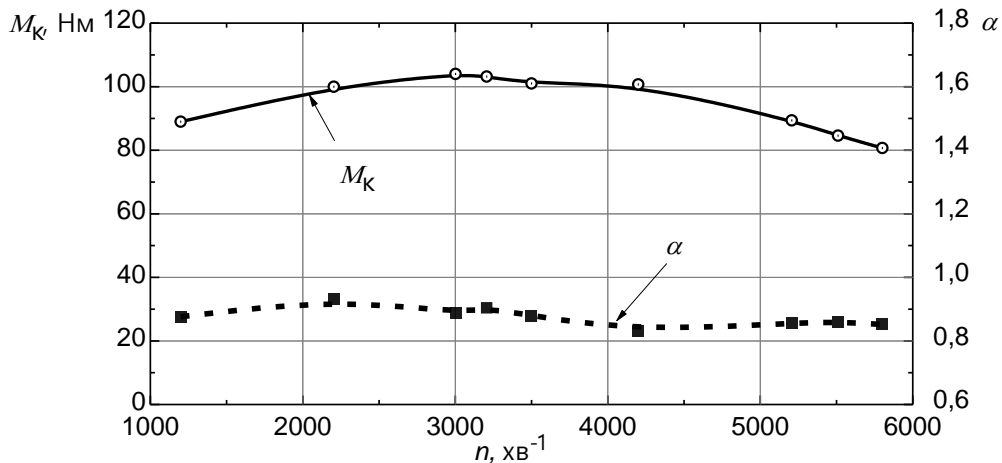


Рис. 2. Швидкісна зовнішня характеристика двигуна MeM3-307 (залежність M_k і α від частоти обертання)

Як бачимо з показаних графіків, енергетичні показники (максимальний крутний момент) несуттєво відрізняються від паспортних даних (у межах 3,5 %). Коефіцієнт надміру повітря змінюється в межах 0,87...0,9, які відповідають отриманню максимальних енергетичних показників.

Порівняння паливної економічності проводили по величині питомої ефективної витрати бензину. Порівнювали питому ефективну витрату бензину за використання для отримання максимальних енергетичних показників збагачення паливо-повітряної суміші ($\alpha = 0,88$) і питому ефективну витрату бензину за отримання близьких енергетичних показників добавкою закису азоту до повітряного заряду і роботою двигуна на стехіометричній паливо-повітряній суміші при однакових циклових подачах бензину. Для зіставлення прийняли режим при частоті обертання 3000 xv⁻¹. Цей режим відповідає максимальному крутному моменту і часто використовується в умовах експлуатації.

Ухвалили такий план дослідження:

визначили циклову подачу бензину за роботи на збагаченій паливо-повітряній суміші ($\alpha = 0,88$);

визначили, як необхідно змінити склад паливо-повітряної суміші добавкою закису азоту, щоб при незмінній цикловій подачі бензину суміш була стехіометричною;

визначили індикаторний коефіцієнт корисної дії (ККД) за роботи двигуна на збагаченій ($\alpha = 0,88$) і стехіометричній суміші ($\alpha = 1,0$);

визначили середній індикаторний тиск за роботи на збагаченій і стехіометричній паливо-повітряній суміші;

визначили середній ефективний тиск за роботи на збагаченій і стехіометричній паливо-повітряній суміші;

визначили ефективну потужність для варіантів, які зіставляли;

визначили і зіставили питому ефективну витрату бензину за роботи двигуна при використанні збагаченої паливо-повітряної суміші і добавці закису азоту до повітряного заряду регулюванням на стехіометричну суміш.

Для об'єктивної оцінки впливу методу отримання підвищених енергетичних показників двигуна з іскровим запалюванням збагаченням паливо-повітряної суміші чи зміною складу свіжого заряду добавкою закису азоту до повітряного заряду прийняли рішення витримувати циклову подачу бензину однаковою в розглянутих методах. Цю циклову подачу ($q_{ц}$) визначили розрахунком для збагаченої паливо-повітряної суміші ($\alpha = 0,88$) за результатами експериментальних випробувань двигуна MeM3-307 за роботи з частотою 3000 xv⁻¹ з повним навантаженням. Відома залежність для визначення коефіцієнта надміру повітря для одного робочого циклу

$$\alpha = \frac{V_h \cdot \eta_v \cdot \rho_{з\text{ар.}}}{l_0 \cdot q_{ц}} \cdot 10^3, \quad (1)$$

з цієї залежності

$$q_{ц} = \frac{V_h \cdot \eta_v \cdot \rho_{з\text{ар.}}}{\alpha \cdot l_0} \cdot 10^3, \quad (2)$$

де у залежностях (1) та (2): V_h – робочий об’єм одного циліндра, л; η_v – коефіцієнт наповнення; $\rho_{зар}$ – густина свіжого заряду, для роботи двигуна на збагаченій паливо-повітряній суміші – це повітряний заряд, за роботи з добавкою закису азоту – це суміш повітря і закису азоту, яку розраховували залежно від величини добавки закису азоту; l_0 – теоретично необхідна кількість повітря або суміші повітря і закису азоту для згорання 1 кг бензину (для повітря $l_0 = 14,8$ кг/кг, для суміші l_0 розраховували залежно від величини добавки закису азоту). Для збагаченої паливо-повітряної суміші ($\alpha = 0,88$) $q_{ц} = 26,6$ мг/цикл та залишається незмінною для $\alpha = 1,0$.

В залежності (1) параметри $V_h = 0,325$ і $\eta_v = 0,87$ стали величини, їх добуток, який дорівнює 0,28, позначили як Д. За роботи на збагаченій паливо-повітряній суміші $\rho_{пов} = 1,225$ кг/м³, $l_0 = 14,8$ кг/кг, $\alpha = 0,88$, величина $q_{ц} = Д \cdot \frac{1,225 \cdot 10^3}{14,8 \cdot 0,88}$. При добавці закису азоту в кількості, яка забезпечує незмінну циклову подачу і збіднення суміші до стехіометричного складу ($\alpha = 1,0$), необхідно, щоб $Д \cdot \frac{\rho_{зар} \cdot 10^3}{l_0 \cdot 0,88} = Д \cdot \frac{\rho'_{зар} \cdot 10^3}{l'_0 \cdot 1,0}$, де $\rho'_{зар}$ і l'_0 – густина свіжого заряду і теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 кг бензину. На рисунку 3 показані розраховані за відомими для газових сумішей формулами залежності $\rho'_{зар} = f(r_{N_2O})$, $l'_0 = f(r_{N_2O})$ та їх відношення $\rho_{зар}/l_0$, де r_{N_2O} – об’ємна частка закису азоту в суміші.

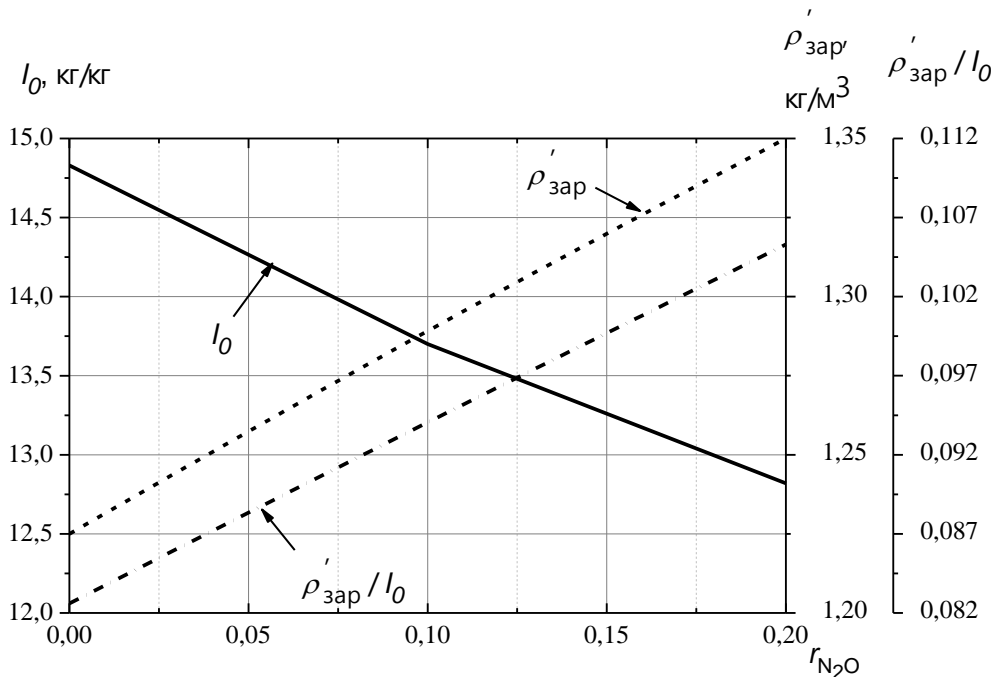


Рис. 3. Залежність показників свіжого заряду від вмісту закису азоту

Для роботи двигуна на збагаченій паливо-повітряній суміші $\rho_{зар}/l_0 = 0,082$, за незмінної циклової подачі бензину і стехіометричній суміші відношення $\frac{\rho'_{зар}}{l'_0} = \frac{\rho_{зар}}{l_0} \cdot \frac{1,0}{0,88} = 0,093$. Відношення $\frac{\rho'_{зар}}{l'_0} = 0,093$ відповідає добавці закису азоту близько $r_{N_2O} = 0,1$ об’єм. (10%). Індикаторний ККД за роботи на збагаченій паливо-повітряній суміші ($\alpha = 0,88$) визначили з використанням експериментальних даних, отриманих на двигуні МеМЗ-307 за відомою формулою

$$\eta_i = \frac{3600 \cdot N_i}{H_u \cdot G_{пал}}, \quad (3)$$

де N_i – індикаторна потужність двигуна при частоті обертання $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$, яку визначили як суму заміряних ефективної потужності $N_e = 32,6 \text{ кВт}$ і потужності механічних втрат $N_m = 5,66 \text{ кВт}$, $N_i = 38,42 \text{ кВт}$; H_u – нижча теплота згорання бензину, $H_u = 44 \text{ МДж/кг}$; $G_{\text{пал}}$ – годинна витрата бензину, експериментально визначена $G_{\text{пал}} = 10,24 \text{ кг/год}$.

$$\eta_i = \frac{3600 \cdot 38,42}{44 \cdot 10,24} \cdot 10 = 0,31.$$

Індикаторний ККД (η'_i) за роботи на стехіометричній суміші ($\alpha = 1,0$) визначили, використавши наведену в дослідженні [6] залежність відносного індикаторного ККД від коефіцієнта надміру повітря (рис. 4). $\eta'_i = 0,34$. Відносний індикаторний ККД, отриманий як відношення індикаторного ККД при цьому складі суміші до індикаторного ККД при $\alpha = 1$ (прийнятий за 100 %).

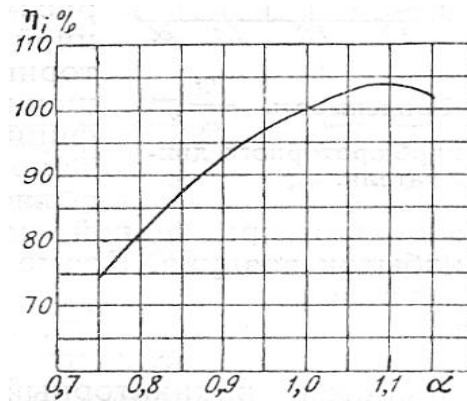


Рис. 4. Залежність відносного індикаторного ККД від коефіцієнта надміру повітря

Середній індикаторний тиск за роботи на збагаченій і стехіометричній паливо-повітряних сумішах розраховували за відомою формулою:

$$p_i = \frac{\eta_i \cdot \eta_v \cdot \rho_{\text{зав}} \cdot H_u}{\alpha \cdot l_0}, \quad (4)$$

для збагаченої паливо-повітряної суміші $p_i = 1,12 \text{ МПа}$, для стехіометричної суміші $p'_i = 1,21 \text{ МПа}$.

Середній індикаторний тиск за роботи на стехіометричній суміші зростає у 1,08 раза порівняно з роботою на збагаченій паливо-повітряній суміші ($\alpha = 0,88$).

Середній тиск механічних втрат, МПа

$$p_m = \frac{N_{\text{оп}} \cdot 30 \cdot 4}{V_h \cdot n} = 0,17. \quad (5)$$

Середній ефективний тиск за роботи на збагаченій паливо-повітряній суміші, МПа

$$p_e = p_i - p_m = 0,95, \quad (6)$$

за роботи на стехіометричній суміші, МПа

$$p'_e = p'_i - p_m = 1,21 - 0,17 = 1,04.$$

Розрахована ефективна потужність двигуна за роботи на збагаченій суміші ($\alpha = 0,88$), кВт

$$N_e = \frac{p_e \cdot V_h \cdot n}{30 \cdot \tau} = \frac{0,95 \cdot 1,3 \cdot 3000}{30 \cdot 4} = 30,9. \quad (7)$$

Питома ефективна витрата бензину

$$g_e = \frac{G_{\text{пал}}}{N_e} \cdot 10^3. \quad (8)$$

За роботи двигуна на збагаченій паливо-повітряній суміші, яку широко використовують у двигунах з іскровим запалюванням для отримання високих енергетичних показників, г/кВт·год:

$$g_e = \frac{G_{\text{пал}}}{N_e} \cdot 10^3 = 331.$$

Розрахована ефективна потужність двигуна з іскровим запалюванням за роботи на стехіометричній суміші, отриманій добавкою 0,1 об'єму закису азоту до повітряного заряду (при незмінній цикловій подачі бензину), кВт

$$N'_e = \frac{p'_e \cdot V_h \cdot n}{30 \cdot \tau} = 33,8.$$

Тут питома ефективна витрата бензину, г/кВт·год

$$g'_e = \frac{G_{\text{пал}}}{N'_e} \cdot 10^3 = 303.$$

Економія бензину становить $\frac{331 - 303}{331} \cdot 100 = 8,5\%$.

Висновки

Теоретичне дослідження методів підвищення енергетичних показників двигунів з іскровим запалюванням добавкою закису азоту до повітряного заряду і збагаченням паливо-повітряної суміші та їх впливу на паливну економічність двигуна показало, що середній індикаторний тиск за роботи на стехіометричній суміші ($\alpha = 1,0$), отриманій добавкою закису азоту до повітряного заряду, зростає в 1,08 рази, порівнюючи з роботою на збагаченій паливо-повітряній суміші ($\alpha = 0,88$), при однаковій годинній витраті бензину. Як результат, питома ефективна витрата бензину при добавці закису азоту близько 0,1 об'єму до повітряного заряду зменшується на 8,5 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Провести дослідження впливу особливостей конструкції нових типів колісних транспортних засобів та сучасних умов експлуатації на споживання палива і мастильних матеріалів з метою вдосконалення чинної системи нормування: звіт про НДР / ДП «ДержавтотрансНДПроект». Київ, 2009.
- [2] Bush K. C., Germane Geoff. J., Hess Gary L. Improved utilization of nitromethan as an internal combustion engine fuel. SAE Techn. Pap. Ser., 1985. URL: <http://www.sae.org/technical/papers/852130>
- [3] Yuh-Yin Wu, K. David Huang. Improving the performance of small spark-ignition engine by using oxygen-enriched intake air. SAE Techn. Pap., 2007. URL: <http://www.sae.org/technical/papers/2007-32-0004>
- [4] The potential benefits of intake air oxygen enriched in spark ignition engine powered Vehicle / Ng H. K., Sekar R. R., Kraft S. W., Stamper K. R. SAE Techn. Pap., 2007. URL: <http://www.sae.org/technical/papers/932803>
- [5] Langfield T. The nitrous oxide. High-Performance manual. Veloce Publishing Ltd, 2006. URL: https://books.google.com.ua/books?id=SGtXeQwR4DUC&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- [6] Гаркуша Ю. Поліпшення енергетичних показників і паливної економічності бензинового двигуна в режимах повних навантажень: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Нац. транс. ун-т. Київ, 2010.

Гутаревич Юрій Феодосійович – д-р техн. наук, професор, професор кафедри «Двигуни і теплотехніка», e-mail: yugutarevich@gmail.com

Національний транспортний університет, м. Київ

Гора Микола Дмитрович – аспірант Національного транспортного університету, завідувач сектору випробовування транспортних засобів, двигунів і моторних палив науково-виробничої лабораторії енергетики та екології транспорту, e-mail: 0011008@ukr.net

Державне підприємство «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут», м. Київ

Y. Gutarevich¹
M. Hora²

Improving the fuel efficiency of a spark ignition engine under full load conditions by adding nitrogen oxide to the air charge

¹National Transport University

²State Enterprise “State Road Transport Research Institute”

The article presents the results of the theoretical studies on the impact of methods for improving the energy characteristics on the fuel economy of a spark ignition engine with feedback and a three-way catalytic converter under full load conditions. Various methods for improving the energy characteristics of spark ignition engines to achieve high energy efficiency are known. The most commonly used method is enriching the fuel-air mixture under full load conditions. However, this method has several drawbacks, including reduced fuel economy and inefficient operation of the catalytic converter. Another known method for improving the energy characteristics of spark ignition engines is by adding oxygen-containing gases, particularly nitrogen oxide, to the air charge, where oxygen by volume constitutes 33%, significantly higher than in air (21%). This method is widely used for boosting the performance of sports car engines. However, there is a lack of research on the impact of this method on fuel economy compared to the enrichment method in the literature. Improving the fuel economy of the engine without deteriorating the energy characteristics is possible by transitioning from operating on enriched fuel-air mixtures to operating on a stoichiometric mixture by adding nitrogen oxide to the engine's air charge. This task was addressed in the article through calculations using experimental data. Fuel economy was evaluated by comparing the specific effective gasoline consumption determined by the engine's work when using an enriched fuel-air mixture and adding nitrogen oxide to the air charge to regulate it to a stoichiometric mixture. It was shown that using nitrogen oxide additives to the engine's air charge can improve fuel economy and increase engine energy characteristics compared to the method of enriching the fuel-air mixture.

Key words: spark ignition engine, fuel economy, nitrogen oxide, full load, enriched fuel-air mixture, stoichiometric mixture.

Gutarevich Yurii – Sc. Dr. (Eng.), Professor, Professor of the department «Engines and heating engineering», e-mail: yugutarevich@gmail.com

Hora Mykola Dmytrovych – Post-Graduate Student of the National Transport University, Head of sector testing of vehicles, engines and motor fuels of the research and production laboratory of energy and transport ecology, e-mail: 0011008@ukr.net