

## ПОЛІПШЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДВИГУНА З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ В РЕЖИМАХ ПОВНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

*Гора М.Д.*, ДП «ДержавтотрансНДІпроект», Київ, Україна, [mgora@insat.org.ua](mailto:mgora@insat.org.ua),  
[orcid.org/0000-0002-1574-3080](https://orcid.org/0000-0002-1574-3080)

## IMPROVEMENT OF THE ENERGY INDICATORS OF THE ENGINE WITH SPARK IGNITION IN FULL LOADS MODES

*Hora M.D.*, State Enterprise «State Road Transport Research Institute», Kyiv, Ukraine,  
[mgora@insat.org.ua](mailto:mgora@insat.org.ua), [orcid.org/0000-0002-1574-3080](https://orcid.org/0000-0002-1574-3080)

### **Постановка проблеми.**

Режими роботи транспортних двигунів, зокрема автомобільних, в умовах експлуатації визначаються режимами руху автомобілів, які є сукупністю розгонів, гальмувань, усталеного руху і комбінацією цих режимів. Використання цих режимів у значній мірі залежить від місця експлуатації автомобілів. У населених пунктах, зокрема в великих містах, режими руху автомобілів залежать від інтенсивності дорожнього руху. Кількість автомобілів постійно зростає. Як показують дослідження ДП «ДержавтотрансНДІпроект», рух автомобілів у місті Києві [1] характеризується значною кількістю інтенсивних розгонів і гальмувань. У таких умовах важливим є підвищення динамічних показників автомобіля, які залежать від енергетичних показників автомобільного двигуна. Тому поліпшення цих показників двигунів з іскровим запалюванням за роботи з повним навантаженням є актуальним завданням. Підвищення енергетичних показників (крутного моменту, потужності, середнього ефективного тиску) є актуальним для спортивних транспортних засобів, енергетичних стаціонарних установок за роботи з повним навантаженням. Разом з тим у процесі визначення методу отримання високих енергетичних показників двигунів необхідно враховувати вплив методу на екологічні показники і паливну економічність автомобіля. З цієї точки зору і проведені розрахункові дослідження методу поліпшення показників двигуна з іскровим запалюванням у режимах повних навантажень додавкою закису азоту до повітряного заряду.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Підвищення енергетичних показників двигунів з іскровим запалюванням у режимах повних навантажень досягають різними методами. Основними з них, які широко використовують або досліджують, є підвищення ступеня стискання, використання двотактного циклу, підвищення частоти обертання [2]. Найбільш ефективним і таким, який знаходить широке застосування, методом є збільшення наповнення циліндрів двигуна повітрям, збільшення тиску заряду на впуску, використанням наддуву. Наддув здійснюють використанням компресора (механічний і газотурбінний наддув), хвильового обмінника тиску (акустичний або резонансний наддув). Поряд із розглянутими методами загальноновизнаним напрямом підвищення енергетичних показників двигунів з іскровим запалюванням у режимах повних навантажень є збагачення паливоповітряної суміші. Робота двигуна на збагаченій паливоповітряній суміші призводить до збільшення витрати бензину і погіршення екологічних показників, зокрема при використанні каталітичного нейтралізатора. Тому актуальними є дослідження методів, які дозволяють поліпшити одночасно енергетичні і екологічні показники двигуна в названих режимах роботи без збільшення витрати палива. Таким методом є використання добавки кисневмісних сполук до повітряного заряду. Однією з таких сполук є закис азоту, в якому кисень за об'ємом складає 33 %. Тому цей метод часто називають хімічним наддувом. Добавка закису азоту до повітряного заряду двигуна з іскровим запалюванням має бути строго дозована, так як її значне збільшення може призвести до детонації і навіть виходу двигуна з ладу. На даний час добавку закису азоту використовують у двигунах спортивних автомобілів. Дослідження двигунів серійних автомобілів показали можливість значного підвищення енергетичних показників [2]. Детальні дослідження щодо впливу добавки закису азоту до повітряного заряду на показники карбюраторного двигуна легкового автомобіля без нейтралізатора провели в роботі [3]. Показано, що добавка 12 % за об'ємом закису азоту підвищує індикаторний к.к.д. на 15,1 %, призводить до зростання ефективної потужності на 6,6 % та зниження ефективної питомої витрати палива на 6,3 %, зменшення викидів забруднених речовин з відпрацьованими газами, зокрема  $CO$  і  $C_mH_n$ .

У статті наведені результати розрахункових досліджень показників роботи двигуна з іскровим запалюванням, із системою впорскування бензину, зворотним зв'язком і трикомпонентним нейтралізатором у режимах повних навантажень при добавці закису азоту до повітряного заряду двигуна. В розрахунках використані результати експериментальних досліджень цього двигуна, проведених у лабораторії випробування двигунів Національного транспортного університету.

#### Виклад основного матеріалу.

Використання закису азоту, в якому кисень за об'ємом складає 33 %, що значно більше в порівнянні з повітрям (21 %), в якості добавки до повітряного заряду двигуна з іскровим запалюванням дозволяє впливати на енергетичні, екологічні показники та паливну економічність. Це особливо актуально для режиму повних навантажень, в якому показники двигуна, зокрема паливна економічність та екологічні показники, погіршуються. Добавка закису азоту до повітряного заряду не забезпечує одночасного отримання оптимальних величин названих показників. Залежно від поставленої мети добавка закису азоту до повітряного заряду двигуна з іскровим запалюванням поліпшує:

- енергетичні показники двигуна в режимі повних навантажень використанням повітряного заряду з вищим вмістом кисню і відповідно з більшою подачею бензину;
- паливну економічність без погіршення енергетичних показників переходом від роботи на збагачених бензоповітряних сумішах до роботи двигуна на стехіометричній і навіть збідненій суміші;
- умови для ефективної роботи каталітичного нейтралізатора при стехіометричному складі суміші без погіршення паливної економічності і енергетичних показників.

Для обґрунтування названих напрямів поліпшення показників двигунів з іскровим запалюванням у режимах повних навантажень добавкою закису азоту до повітряного заряду провели розрахункові дослідження з використанням результатів експериментальних досліджень двигуна 6Ч9,5/6,98 з системою впорскування, зворотним зв'язком і каталітичним нейтралізатором [4, 5].

На рисунку 1 показана залежність коефіцієнту надміру повітря від частоти обертання за роботи двигуна з повним навантаженням. В усьому інтервалі досліджуваних частот обертання коефіцієнт надміру повітря  $\alpha$  змінюється в межах 0,84...0,88, тобто система управління для отримання високих енергетичних показників підтримує дещо збагачений склад паливоповітряної суміші, що призводить до збільшення витрати бензину.

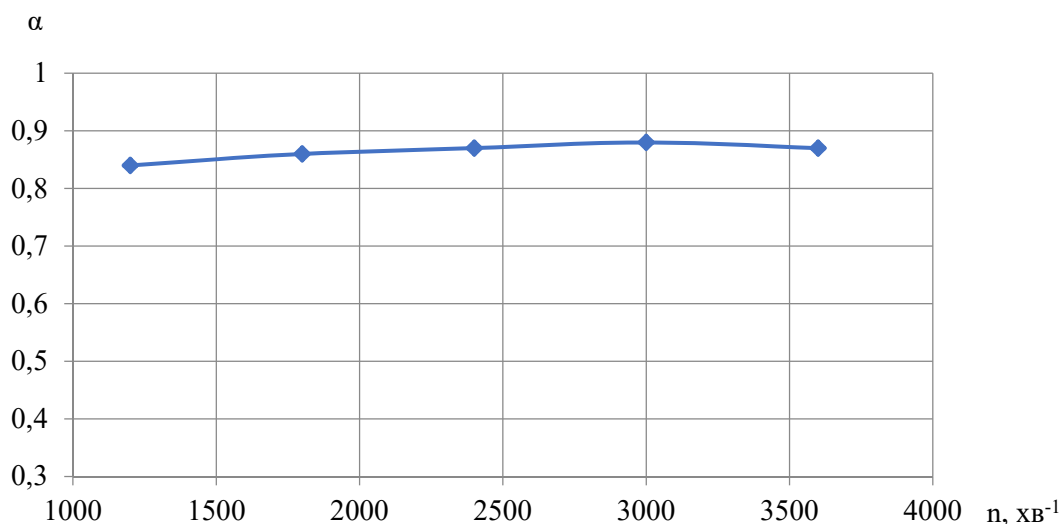


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнту надміру повітря від частоти обертання двигуна 6Ч9,5/6,98 за роботи з повним навантаженням

Figure 1 – Dependence of the coefficient of excess air on the engine speed of engine 6Ch9,5/6,98 at full load

На рисунку 2 показана залежність середнього ефективного тиску від частоти обертання при повному навантаженні.

Обрали для дослідження частоту обертання  $1800 \text{ хв}^{-1}$ , показники в цьому режимі  $\alpha = 0,86$ ,  $p_e = 0,79 \text{ кПа}$ .

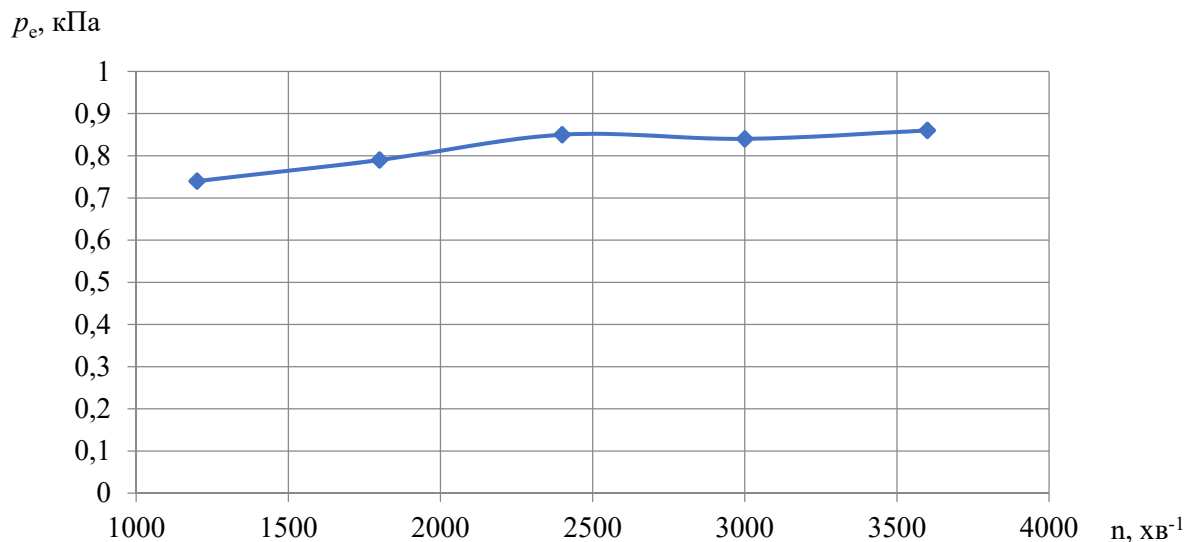


Рисунок 2 – Залежність середнього ефективного тиску від частоти обертання двигуна 6Ч9,5/6,98 за роботи з повним навантаженням

Figure 2 – Dependence of average effective pressure on engine speed of engine 6Ch9.5/6.98 at full load

Середній індикаторний тиск робочого циклу двигуна визначили з відомої залежності:

$$p_i = \frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \frac{H_u}{l_0} \cdot \eta_v \cdot \rho_{\text{пов}}, \quad (1)$$

де  $p_i$  – індикаторний к.к.д.;  $H_u$  – нижча теплота згорання, кДж/кг;  $l_0$  – теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 кг палива, кг/кг;  $\eta_v$  – коефіцієнт наповнення;  $\rho_{\text{пов}}$  – густина повітряного заряду, кг/м<sup>3</sup>. При добавці закису азоту до повітряного заряду змінюються його характеристики  $l_0$  і  $\rho_{\text{пов}}$ . Інші параметри при незмінному складі паливоповітряної суміші, як показано в дослідженні [3], можуть бути прийняті незмінними, тоді залежність середнього індикаторного тиску.  $p'_i$  при добавці закису азоту до повітря на впуску матиме вигляд

$$p'_i = D \frac{\rho'_{\text{пов}}}{l'_0}, \quad (2)$$

де  $D$  – стала величина;  $\rho'_{\text{пов}}$  і  $l'_0$  – густина повітряного заряду і теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 кг палива при добавці закису азоту до повітря на впуску. Визначили зміну  $l_0$  при добавці закису азоту до повітряного заряду в кількості 10 % за об'ємом за відомою залежністю

$$l_0 = \frac{1}{g_{O_2}} \cdot \left( \frac{8}{3} C + 8H - O_T \right), \quad (3)$$

де  $g_{O_2}$  – масова частка кисню в повітряному заряді (кг/кг);  $C$ ,  $H$ ,  $O_T$  – масові частки елементів у паливі (кг/кг).  $C = 0,855$ ,  $H = 0,145$ ,  $O_T = 0$ . При добавці закису азоту змінюється  $g_{O_2}$ .

$$g_{O_2} = g_{O_{2\text{пов}}} g_{\text{пов}} + g_{O_2 N_2 O} g_{N_2 O}, \quad (4)$$

де  $g_{O_2}$  – масова частка кисню в повітрі,  $g_{O_2} = 0,232$ ;  $g_{\text{пов}}$  – масова частка повітря в суміші з закисом азоту;  $g_{O_2 N_2 O}$  – масова частка кисню в закисі азоту,  $g_{O_2 N_2 O} = 0,364$ ;  $g_{N_2 O}$  – масова частка закису азоту в суміші. Масову частку  $g_{O_2}$  визначили за залежностями через об'ємні частки повітря ( $r_{\text{пов}} = 0,9$ ) та закису азоту ( $r_{N_2 O} = 0,1$ )

$$g_{\text{пов}} = \frac{r_{\text{пов}} \cdot \mu_{\text{пов}}}{r_{\text{пов}} \cdot \mu_{\text{пов}} + r_{N_2 O} \cdot \mu_{N_2 O}}, \quad (5)$$

$$g_{N_2O} = \frac{r_{N_2O} \cdot \mu_{N_2O}}{r_{пов} \cdot \mu_{пов} + r_{N_2O} \cdot \mu_{N_2O}}. \quad (6)$$

У наведених залежностях  $\mu_{пов} = 28,96$  кг/кмоль,  $\mu_{N_2O} = 44$  кг/кмоль, отримали  $g_{пов} = 0,856$ ,  $g_{N_2O} = 0,144$ ,  $g_{O_2} = 0,251$ .

Розрахована величина  $l_0$  за формулою (3) складає при використанні повітряного заряду без добавки закису азоту  $l_0 = 14,8$  кг/кг, з добавкою 10 % за об'ємом закису азоту  $l'_0 = 13,7$  кг/кг.

Густина повітряного заряду  $\rho_{пов}$  в процесі визначення характеристик, показаних на рисунках 1 і 2, становила  $\rho_{пов} = 1,22$  кг/м<sup>3</sup>. При добавці закису азоту до повітря в кількості 10 % за об'ємом  $g_{N_2O}$  становить 0,145, тоді густина повітряного заряду

$$\rho'_{пов} = g_{пов} \cdot \rho_{пов} + g_{N_2O} \cdot \rho_{N_2O}. \quad (7)$$

Густина закису азоту для умов проведення експерименту ( $P = 101050$  Па,  $T = 289$  К) становить  $\rho_{N_2O} = 1,85$  кг/м<sup>3</sup>. Густина повітряного заряду при добавці закису азоту становить  $\rho'_{пов} = 1,31$  кг/м<sup>3</sup>.

Визначене з залежностей (1) і (2) відношення середніх індикаторних тисків

$$\frac{p'_i}{p_i} = \frac{\rho'_{пов} \cdot l_0}{l'_0 \cdot \rho_{пов}} = 1,16.$$

Підвищення середнього індикаторного тиску призведе до підвищення ефективних показників двигуна. Визначений в експерименті середній тиск механічних втрат в цьому режимі складає  $p_m = 0,12$  МПа, середній ефективний тиск  $p_e = 0,79$  МПа, середній індикаторний тиск  $p_i = 0,91$  МПа. Тоді очікуваний середній ефективний тиск

$$p'_e = 1,16 \cdot p_i - p_m = 0,936 \text{ МПа}. \quad (8)$$

Таким чином, можна очікувати, що добавка закису азоту до повітряної суміші заряду двигуна з іскровим запалюванням величиною 10 % за об'ємом призведе до поліпшення енергетичних показників за роботи з однаковим складом паливоповітряної суміші на 18 % ( $\frac{p'_e}{p_e} = 1,18$ ).

Для визначення необхідного збільшення циклової подачі бензину для отримання незмінного складу паливоповітряної суміші ( $\alpha = 0,86$ ) проаналізували вираз коефіцієнта надміру повітря для одного циклу

$$\alpha = \frac{V_h \cdot \eta_v \cdot \rho_{пов}}{l_0 \cdot q_{ц}} \cdot 10^3, \quad (9)$$

де:  $V_h$  – робочий об'єм циліндра ( $V_h = 0,5$  л);  $\eta_v$  – коефіцієнт наповнення, визначений в експерименті ( $\eta_v = 0,72$ );  $l_0$  – теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 кг бензину (для роботи без добавки закису азоту,  $l_0 = 14,8$  кг/кг, з добавкою 10 % за об'ємом  $l'_0 = 13,7$  кг/кг);  $\rho_{пов}$  – густина повітряного заряду, визначена в процесі експерименту  $\rho_{пов} = 1,22$  кг/м<sup>3</sup>, розрахована при 10% добавці закису азоту  $\rho'_{пов} = 1,31$  кг/м<sup>3</sup>;  $q_{ц}$  – циклова подача бензину, визначена в експерименті  $q_{ц} = 34,5$  мг/цикл,  $q'_{ц}$  – необхідна для отримання незмінного складу паливоповітряної суміші ( $\alpha = 0,86$ ).

Із залежності (9) визначили, що для отримання незмінного складу паливоповітряної суміші ( $\alpha = 0,86$ ) при добавці 10 % за об'ємом закису азоту до повітряного заряду двигуна необхідно збільшити циклову подачу бензину з 34,5 мг/цикл до 40 мг/цикл на 16 %.

Отже, енергетичні показники двигуна, середній ефективний тиск при добавці 10 % закису азоту до повітряного заряду зростуть на 18 %. Витрата палива при незмінному складі паливоповітряної суміші збільшиться на 16 %, тобто паливна економічність двигуна не зміниться при зростанні енергетичних показників.

#### Висновки.

Добавка кисневмісного газу – закису азоту до повітряного заряду двигуна з іскровим запалюванням впливає на показники двигуна за роботи з повним навантаженням. Змінюючи склад паливоповітряної суміші, можливо поліпшувати енергетичні, екологічні показники та паливну економічність двигуна в режимі повного навантаження, але одночасно поліпшити названі показники

неможливо. За роботи з повним навантаженням основними є енергетичні показники, які бажано отримати без погіршення інших показників.

Розрахунки, проведені з використанням результатів експериментальних досліджень, отриманих на двигуні 6Ч9,5/6,98 з системою впорскування бензину, зворотним зв'язком і каталітичним нейтралізатором, показали, що добавка 10 % за об'ємом закису азоту до повітряного заряду призведе до зростання енергетичних показників двигуна – середнього ефективного тиску на 18 % при незмінному складі паливоповітряної суміші при зростанні циклової подачі бензину на 16 %, тобто без погіршення паливної економічності.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

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 «ДержавтотрансНДІпроект». – Київ, 2009.

2. Лэнгфильд Т. Закись азота. Руководство пользователю / Перевод с английского / Т. Лэнгфильд. – М.: Легион-Автodata, 2007. – 136 с.

3. Гаркуша Ю.В. Поліпшення енергетичних показників і паливної економічності бензинового двигуна в режимах повних навантажень: дис.. канд. техн. наук: 05.05.03/ Гаркуша Юхим Володимирович; Нац. транс. ун-т. – К. 2010. – 146 с.

4. Дядченко В.Л. Покращення паливної економічності багатociліндрових двигунів з впорскуванням бензину в режимах малих навантажень і холостого ходу: дис.. канд. техн. наук: 05.05.03/ Дядченко Вячеслав Леонідович; Нац. транс. ун-т. – К., 2010. – 172 с.

5. Сирота О.В. Покращення паливної економічності і екологічних показників багатociліндрового бензинового двигуна застосуванням комбінованого методу регулювання потужності: дис.. канд. техн. наук: 05.05.03/ Сирота Олександр Вадимович; Нац. транс. ун-т. – К., 2011. – 182 с.

### REFERENCES

1. Provesty doslidzhennya vplyvu osoblyvostei konstrukttsii novykh tyviv kolisnykh transportnykh zasobiv ta suchasnykh umov ekspluatatsii na spozhuvannya palyva I mastylnykh materialiv z metoyu vdoskonalennya chunnoi system normuvannya [To study the impact of design features of new types of wheeled vehicles and modern operating conditions on the consumption of fuel and lubricants in order to improve the current rationing system]. State Enterprise “State Road Transport Research Institute”, Kyiv, 2009.

2. Lengfield T. Zakis azota. Rukovodstvo polzpvatelyu. [Nitrous oxide. User manual]. Moscov, Легион-Автodata Legion-Avtodata Publ., 2007. 136 p.

3. Harkusha Yu.V. Polipshennya enerhetychnykh pokaznykiv I palyvnoi ekonomichnosti benzynovoho dvyhuna v rezhymah povnykh navantazhen Dokt. Diss. [Improving the energy performance and fuel economy of a gasoline engine at full load. Doct. Diss.]. Kyiv, 2010. 146 p.

4. Dyadchenko V.L. Pokrashchennia palyvnoi ekonomichnosti bahatotsylindrovyyh dvyhuniv z vprskuvannyam benzynu v rezhymah malykh navantazhen i holostoho hodu Dokt. Diss. [Improving the fuel economy of multi-cylinder engines with gasoline injection at low loads and idling. Doct. Diss.]. Kyiv, 2010. 172 p.

5. Syrota O.V. Pokrashchennia palyvnoi ekonomichnosti i ekolohichnykh pokaznykiv bahatotsylindrovoho benzynovoho dvyhuna zastosuvannyam kombinovanoho metodu rehulyuvannya potyzhnosti Dokt. Diss. [Improving fuel economy and environmental performance of a multi-cylinder gasoline engine using a combined power control method. Doct. Diss.]. Kyiv, 2011. 182 p.

### РЕФЕРАТ

Гора М.Д. Поліпшення енергетичних показників двигуна з іскровим запалюванням в режимах повних навантажень / М.Д. Гора // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

У статті запропоновано метод поліпшення енергетичних показників двигуна з іскровим запалюванням у режимах повних навантажень шляхом використання добавки кисневмісних сполук до повітряного заряду.

Об'єкт дослідження – вплив добавки закису азоту до повітряного заряду на енергетичні показники та паливну економічність двигуна з іскровим запалюванням у режимах повних навантажень.

Мета дослідження – теоретичне дослідження поліпшення енергетичних показників двигуна з іскровим запалюванням у режимах повних навантажень при добавці закису азоту до повітряного заряду.

Наведені результати розрахункових досліджень впливу добавки кисневмісного газу – закису азоту до повітряного заряду на енергетичні показники двигуна з іскровим запалюванням, системою впорскування і зворотним зв'язком. Показано, що одночасно отримати оптимальні величини всіх основних показників роботи двигуна неможливо. Показано, що використанням добавки закису азоту, в залежності від мети, можливо поліпшити енергетичні показники, паливну економічність, екологічні показники двигуна. Наведені результати розрахунків впливу добавки закису азоту на енергетичні показники двигуна і паливну економічність.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ДВИГУН З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ, ЗАКИС АЗОТУ, ПАЛИВОПОВІТРЯНА СУМІШ, КОЕФІЦІЄНТ НАДМІРУ ПОВІТРЯ, СЕРЕДНІЙ ЕФЕКТИВНИЙ ТИСК, ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ, ПАЛИВНА ЕКОНОМІЧНІСТЬ.

#### **ABSTRACT**

Hora M.D. Improvement of the energy efficiency of the spark ignition engine at full load. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article proposes a method of energy efficiency improvement of a spark ignition engine at full load by adding the oxygen-containing compounds to the air charge.

The research object is the effect of the addition to the air charge on energy efficiency and fuel economy of the spark ignition engine at full load.

The purpose of the study is a theoretical research of the energy efficiency improvement of the spark ignition engine at full load with the addition of nitrous oxide to the air charge.

The result of theoretical research shows an effect on energy efficiency of a spark ignition engine with electronic control injection system with feedback by adding the oxygen-containing compounds (nitrous oxide) to the air charge. It is shown that it is impossible to obtain the optimal values of all the main indicators of engine operation at the same time. It is shown that by using a nitrous oxide, depending on the purpose, it is possible to improve engine energy efficiency, fuel economy and pollution. The results of calculation of the theoretical research of energy efficiency improvement of a spark ignition engine at full load by adding the oxygen-containing compounds to the air charge are given.

**KEYWORDS:** SPARK IGNITION ENGINE, NITROUS OXIDE, FUEL-AIR MIXTURE, EXCESS AIR RATIO, AVERAGE EFFECTIVE PRESSURE, ENERGY PERFORMANCE, FUEL ECONOMY.

#### **АВТОР:**

Гора Микола Дмитрович, завідувач сектору, ДП «ДержавтотрансНДПроект», e-mail: mgora@insat.org.ua, orcid.org/0000-0002-1574-3080, тел. +380442010863, Україна, 03113, м. Київ, просп. Перемоги 57, к. 7.

#### **AUTHOR:**

Hora Mykola Dmytrovych, head of sector, State Enterprise “State Road Transport Research Institute”, e-mail: mgora@insat.org.ua, orcid.org/0000-0002-1574-3080, ph. num. +380442010863, Ukraine, 03113, Kyiv, Peremohy avenue 57, k. 7.

#### **РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри «Автомобілі», Україна, Київ.

Клименко О.А., доктор технічних наук, доцент, ДП «ДержавтотрансНДПроект», заступник директора з наукової роботи, Україна, Київ.

#### **REVIEWER:**

Sakhno V. PhD, Engineering (Dr.), professor, National Transport University, Head of Department of Automobiles, Ukraine, Kyiv.

Klymenko O. PhD, Engineering (Dr.), associate professor, State Enterprise “State Road Transport Research Institute”, Deputy Director for Research, Ukraine, Kyiv.