

УДК 656.13/73.31.41  
UDC 656.13/73.31.41

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПІДГРІВУ ПОВІТРЯ НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ ТА ЕМІСІЮ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У ДВИГУНІ З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ**

Трифонов Д.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Сирота О.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Карев С.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Добровольський О.С., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

## **STUDY OF THE EFFECT OF HEATING THE AIR ENTERING THE ENGINE WITH SPARK IGNITION ON FUEL EFFICIENCY AND EMISSIONS OF TOXIC SUBSTANCES IN EXHAUST GASES**

Trifonov D.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Syrota A.V., Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Karev S.V., Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Dobrovolsky A.S., Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Kyiv, Ukraine

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДОГРЕВА ВОЗДУХА НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ И ЭМИССИЮ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ДВИГАТЕЛЕ С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ**

Трифонов Д.Н., Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Сирота А.В., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Карев С.В., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Добровольский А.С., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

### **Постановка проблеми.**

В даний час одним з пріоритетних напрямків розвитку всіх галузей вітчизняної економіки є створення енергоефективних технологій, що дозволяють раціонально витратити енергетичні ресурси. Повною мірою це відноситься і до автомобільного транспорту.

Постійно зростаючий парк автомобілів, який використовує нафтове паливо, приводить до забруднення повітряного басейну токсичними речовинами, які містяться у відпрацьованих газах [1].

Питома вага автомобільного транспорту в забрудненні атмосфери міст досягає 80% і більше, а вміст токсичних речовин у повітрі населеної зони місцями не тільки перевищує гранично допустимі концентрації, але й продовжує неухильно зростати.

Вміст токсичних речовин у відпрацьованих газах автомобілів, як одна з характеристик їх екологічної безпеки, залежить від різних факторів і умов експлуатації, серед яких одну з важливих відіграє температура навколишнього середовища.

Відповідно до [2], територія України знаходиться в зоні помірного кліматичного пояса. Таким чином, на території держави складається помірно-континентальний тип клімату. Частина року (порядку 4 – 6 місяців) автомобілі експлуатуються при температурах повітря від +5<sup>0</sup>С и нижче

Погіршення ефективності й надійності автомобілів, насамперед силової установки, в умовах низьких температур дослідники зв'язують, як правило, з погіршенням теплового балансу двигуна. Такі фактори, як вітер, вологість, опади лише збільшують негативний вплив низької температури навколишнього середовища на автомобіль.

Низька температура повітря й пов'язане з цим охолодження агрегатів і експлуатаційних матеріалів утрудняють пуск двигуна, збільшується час на його прогрів, і, як наслідок, погіршується його паливна економічність. При низьких температурах повітря на пускових обертах колінчатого вала в циліндри двигуна надходить у пароподібному стані лише до 10% палива, а порядку 90% палива накопичується у впускному колекторі у вигляді рідкої фази (паливної плівки). Тобто, частина

палива, яка потрапляє у впускний колектор, конденсується на його стінках у вигляді паливної плівки, у складі якої переважно є найбільш важкі фракції палива, а частина, яка залишилася, підхоплюється повітряним потоком у циліндри, у вигляді випаровувань і дрібних крапель.

У зв'язку з цим, паливоповітряна суміш, яка надходить у циліндри двигуна, виявляється збідненою. Холодна збіднена суміш горить недостатньо інтенсивно, паливо згорає неповно, і, як наслідок цього, збільшується витрата палива й емісія токсичних речовин у відпрацьованих газах.

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

Питанням експлуатації автомобілів в умовах низьких температур навколишнього середовища, зокрема холодного пуску двигуна і його подальшого прогріву, присвячено велика кількість робіт.

Огляд і аналіз літературних джерел [3-10] показав, що основна увага авторів приділена передпусковій підготовці дизелів. При цьому використовуються пристрої, що вимагають для забезпечення своєї роботи додаткової витрати енергії (електричної, теплової) і, або, внесення змін у конструкцію систем, що забезпечують роботу силової установки. Питанням, пов'язаним із забезпеченням скорочення часу прогріву двигунів з іскровим запалюванням, в тому числі і з карбюраторними системами живлення, увагу приділено недостатньо.

Так само, недостатньо уваги приділено і дослідженням, спрямованим на вивчення впливу додаткових засобів, які забезпечують пуск і прискорений прогрів двигунів в умовах низьких температур на емісію токсичних речовин у відпрацьованих газах автомобілів.

Дослідження, проведені в США, Канаді й у Скандинавських країнах, показують, що викиди оксиду вуглецю (СО) і вуглеводнів ( $C_mH_n$ ) з відпрацьованими газами при експлуатації автомобілів із двигунами з іскровим запалюванням в умовах низьких температурах збільшується в 6 - 10 разів.

Так сучасний легковий автомобіль, оснащений електронною системою управління двигуном і каталітичним нейтралізатором відпрацьованих газів, на фазі пуску двигуна і його прогріву викидає до 70...80% від сумарного викиду продуктів неповного згорання палива СО і  $C_mH_n$  при випробуванні по стандартному міському циклу й температурі  $T_0=+20^\circ C$ . При зниженні температури до  $T_0=-7^\circ C$  ці викиди збільшуються в абсолютному значенні в 2,5...4 рази.

За даними джерела [8], автомобіль, що задовольняє нормам Євро-3, викидає в атмосферу до 80% емісії  $C_mH_n$  у перші 40 секунд після холодного пуску двигуна. Дані дослідження призвели до того, що починаючи із норм Євро-3, виключено 40 секундний прогрів двигуна перед виконанням іздового циклу.

Задача пуску двигуна автомобіля і його прогріву, в умовах низьких температур навколишнього середовища, є однією з найбільш складних, що виникає в процесі експлуатації автомобіля. Ускладнення пуску двигуна має об'єктивний характер і виникає із-за погіршення умов сумішоутворення й згорання робочої суміші, при цьому відбувається зміна (у бік погіршення) його екологічних і паливоекномічних показників.

Тобто, основними причинами підвищеної емісії токсичних речовин у відпрацьованих газах в даному режимі є:

по-перше, погіршення сумішоутворення (незадовільне розпилювання палива та його випаровування, підвищена нерівномірність розподілу суміші по циліндрах);

по-друге, затримка вступу в роботу каталітичного нейтралізатора через необхідність його попереднього прогріву (для початку ефективних реакцій окиснення необхідна температура в реакційній камері більш  $250^\circ C$ ). При температурі відпрацьованих газів, на вході в каталітичний нейтралізатор, наприклад,  $150^\circ C$  ефективність його роботи знижується більш ніж у три рази [9] у порівнянні з максимально можливою.

Ефективність згорання робочої суміші безпосередньо залежить від інтенсивності підігріву повітря, що надходить у циліндр двигуна.

Авторами, у роботі [10], встановлено, що підвищення температури повітря на вході в карбюратор зменшує у впускному трубопроводі рідку фазу (паливну плівку), сприяє випаровуванню крапель у потоці, що приводить до поліпшення гомогенності паливоповітряної суміші, що сприятливо позначається на протіканні робочого процесу і, як наслідок, на паливній економичності двигуна. Підвищення температури повітря веде не тільки до економії палива, але і до зменшення викидів вуглеводнів.

#### **Постановка завдання.**

Метою експериментальних досліджень є визначення впливу температури повітря на вході в карбюратор на паливну економичність та емісію токсичних речовин у відпрацьованих газах (ВГ) карбюраторного двигуна з іскровим запалюванням при його прогріві в режимі холостого ходу.

Об'єктом експериментальних досліджень є карбюраторний, чотиритактний,

чотирициліндровий рядний двигун МеМЗ-245.

Експериментальні дослідження проведені в лабораторії випробовування двигунів Національного транспортного університету.

Для забезпечення підігріву впускного повітря використовувалося обладнання з металокерамічним нагрівальним елементом. Під час проведення випробувань контролювалися температура повітря перед карбюратором і температура паливоповітряної суміші у впускному колекторі (в районі впускного клапана).

Запуск та прогрів двигуна здійснювався при температурі навколишнього повітря  $+19...+22^{\circ}\text{C}$  на частоті обертання колінчастого вала  $1400 \text{ хв}^{-1}$  (оптимальна, стійка частота при прогріві), до температури охолоджуючої рідини двигуна  $+85...+90^{\circ}\text{C}$ .

Під час випробувань двигуна оцінювали концентрації шкідливих речовин у ВГ - монооксиду вуглецю  $\text{CO}$ , вуглеводнів  $\text{C}_m\text{H}_n$  та оксидів азоту  $\text{NO}_x$ .

#### Результати досліджень.

За результатами проведених досліджень встановлено наступне.

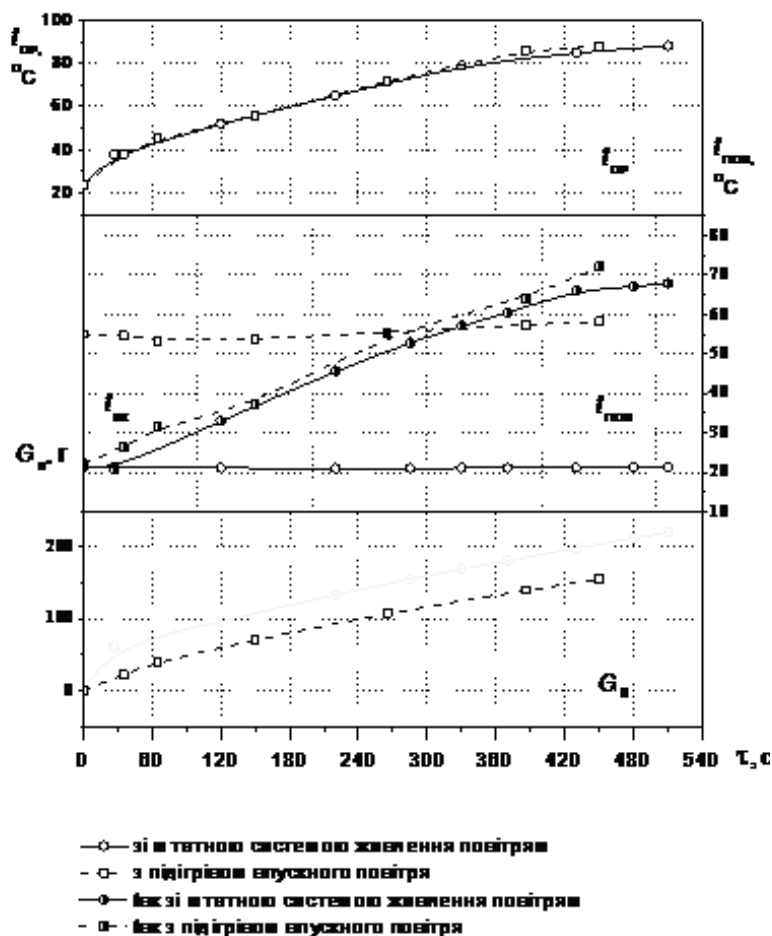


Рисунок 1 – Зміни температур охолоджувальної рідини, впускного повітря та паливоповітряної суміші, а також витрати палива від часу прогріву двигуна

Обладнання з металокерамічним нагрівальним елементом забезпечує підігрів повітря, яке потрапляє в карбюратор в середньому до  $55,8^{\circ}\text{C}$ , при температурі навколишнього середовища –  $21,4^{\circ}\text{C}$  (рис. 1). При цьому температура паливоповітряної суміші у впускному колекторі збільшилася в середньому на 7%. Цей факт дає можливість припустити, як зменшення в'язкості паливоповітряної суміші, так і поліпшення її якості за рахунок збільшення кількості палива, що випарувалося.

Стабілізація температури ОР спостерігається при використанні підігріву повітря на рівні  $88^{\circ}\text{C}$  на 450 секунд, без підігріву - на 510 секунд з моменту пуску двигуна. Тобто, прогрівання двигуна (до температури ОР  $88^{\circ}\text{C}$ ), при підігріві повітря на впуску, відбувається, за результатами випробувань, на 60 секунд (близько 12 %) швидше від часу прогріву двигуна зі штатною системою живлення повітрям.

Аналіз, отриманих в результаті експериментальних досліджень, даних по витраті палива, з урахуванням необхідного часу прогріву двигуна до температури ОР  $88^{\circ}\text{C}$ , дозволяє визначити його кількість. З підігрівом повітря на впуску, витрата палива складає – 155 грам, зі штатною системою – 220 грам. Тобто, за час прогрівання двигуна, за результатами випробувань, економія палива, при підігріві повітря на впуску, становить 65 грамів (близько 30%).

Відповідно годинна витрата палива в кінці прогріву знижується з 0,94 до 0,84 кг/год (рис.2).

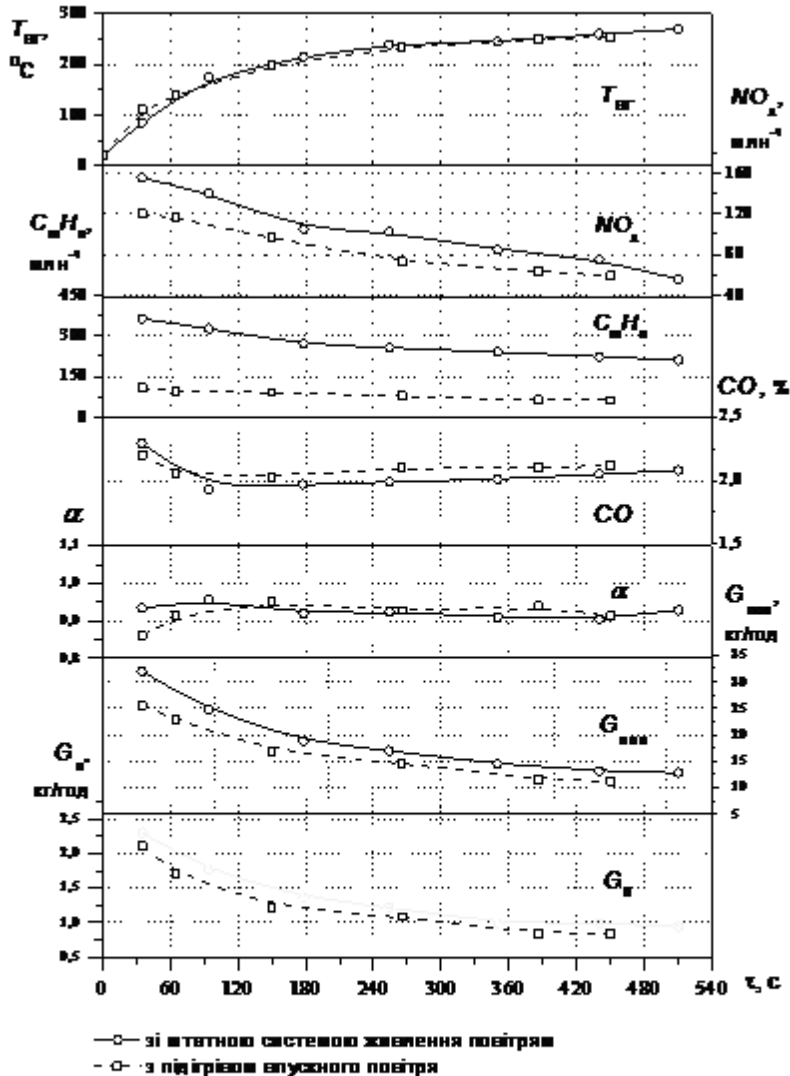


Рисунок 2 – Концентрації токсичних речовин у ВГ двигуна в режимі холостого ходу

Температура відпрацьованих газів, як з підігрівом повітря на впуску, так і зі штатною системою, практично не відрізняється. Різниця температур становить  $10^{\circ}\text{C}$  (близько 4%). Отримані результати не дозволяють визначити ступінь вплив підігріву впускного повітря (при даних умовах експерименту) на температуру відпрацьованих газів.

Аналіз отриманих даних, щодо, концентрації токсичних речовин у ВГ двигуна при його прогріві в режимі холостого ходу, показав (рис.2) .

Концентрація монооксиду вуглецю у ВГ в ході прогріву, як з підігрівом повітря, так і без, практично не відрізняється. Різниця концентрацій CO становить близько 5%.

Концентрація вуглеводнів у ВГ в ході прогріву двигуна з підігрівом повітря на впуску спостерігалася значно меншою і до закінчення прогріву (початку стабілізації температури ОР на рівні  $88^{\circ}\text{C}$ ) становила близько  $60 \text{ млн}^{-1}$ , тоді як при роботі зі штатною системою –  $210 \text{ млн}^{-1}$ .

Використання підігріву повітря на впуску, за результатами досліджень, показує дещо менші значення концентрації оксидів азоту у ВГ на початку прогріву. При досягненні температури ОР рівня  $+88^{\circ}\text{C}$  к 510 секунди з моменту пуску двигуна, концентрації оксидів азоту у ВГ, як з підігрівом повітря на впуску, так і зі штатною системою вирівнялися.

Концентрації токсичних речовин у ВГ не характеризують повністю шкідливий вплив двигуна на довкілля, так, як кількість шкідливих речовин, що надходить в атмосферу залежить і від кількості продуктів згоряння, що утворюються в циліндрах двигуна (рис. 3).

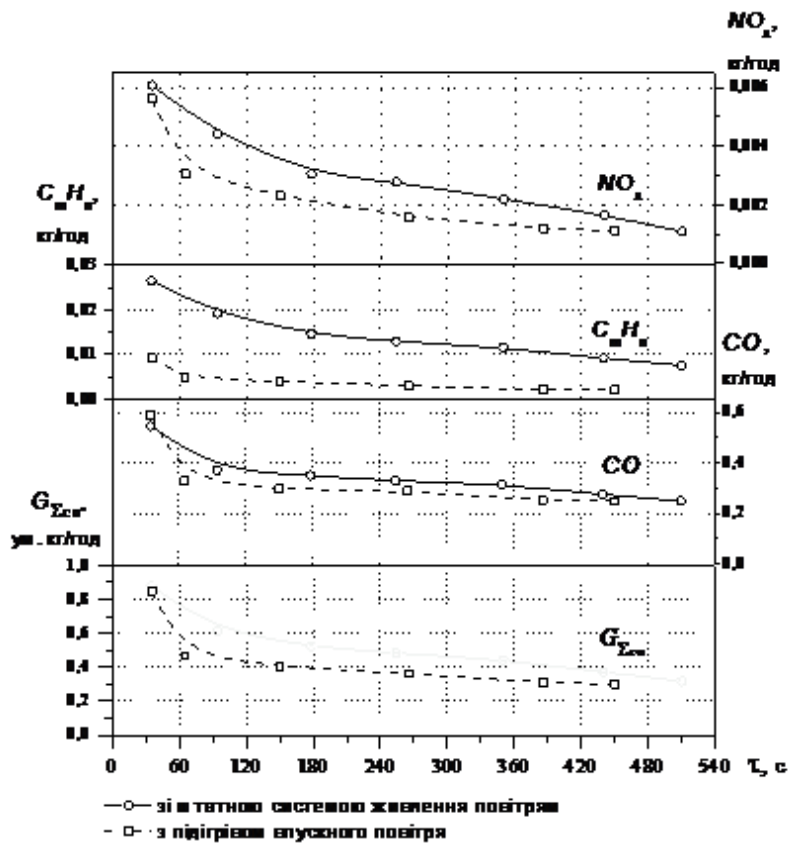


Рисунок 3 – Зміни масових викидів токсичних речовин та сумарної зведеної токсичності ВГ від часу прогріву двигуна

Аналіз залежності сумарної токсичності ВГ від часу прогріву двигуна, показав, що використання підігріву повітря на вході в карбюратор дозволяє зменшити середню сумарну токсичність ВГ на 14%.

#### Висновки.

Таким чином, експериментальні дослідження, які були проведені з метою визначення впливу температури повітря на вході в карбюратор на паливну економічність та емісію токсичних речовин у відпрацьованих газах карбюраторного двигуна з іскровим запалюванням при його прогріві в режимі холостого ходу, досить переконливо демонструють доцільність підвищення температури повітря на впуску, навіть при відносно високій температурі навколишнього середовища, що забезпечує прогрів елементів силової установки, пов'язаних із проходженням холодного повітря, що й поліпшує сумішоутворення, і як наслідок, призводить до зменшення витрати палива та емісії токсичних речовин у відпрацьованих газах.

Система підігріву впускного повітря і забезпечення стабілізації його температури дозволяє забезпечити якісне оптимальне розпилювання палива і більш рівномірний розподіл паливоповітряної суміші по циліндрах в карбюраторних системах живлення.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А.Г., Корпач А.О., Мержиєвська Л.П. «Екологія та автомобільний транспорт: Навчальний посібник». - К.: Арістей, 2006. - 292 с.
2. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. ГОСТ 16350-80. – М., 1981.– 140 с.
3. Гусаков С. В., Шарипов А.З., Меньших А. А. Улучшение экологических показателей автомобильного двигателя с искровым зажиганием в период прогрева после холодного пуска //

Вестник Российского университета дружбы народов. Сер. Инженерные исследования. - М., 2011. - № 3. - С. 60-67.

4. Крамаренко Г.В., Николаев В.А., Шаталов А.И. Безгаражное хранение автомобилей при низких температурах. - М.: Транспорт, 1984. - 136 с.

5. Микулин Ю.В., Карницкий В.В., Энглин Б.А. Пуск холодных двигателей при низкой температуре. М.: Машиностроение, 1971. - 216 с

6. Покровский А.Н., Букин А.А., Гаврилов Д.Ф. Эксплуатация автомобилей с карбюраторными двигателями в условиях низких температур. М.: Автотрансиздат, 1961. - 112 с.

7. Сарбаев В.И., Морозов В.А. Эксплуатация автомобилей в условиях низких температур // Грузовик. 2013. № 10. С. 17–20.

8. Неяченко И.И. Метод оценки смесеобразования в бензиновых двигателях внутреннего сгорания // Авіаційно-космічна техніка і технологія: Зб. наук. праць. – Харків: ХАІ, 2003.– Вип.41/6. – с.16-21.

9. Мальберт А.А. Конструкции нейтрализаторов отработавших газов дизелей // Совершенствование быстроходных дизелей: Межвузовский сб. науч. трудов. - Барнаул: Алт. ГТУ, 1991. - С. 129-142.

10. Иванов В.Н., Ерохов В.И. Экономия топлива на автомобильном транспорте. - М: Транспорт, 1984. – 152 с.

#### REFERENCES

1. Hutarevich Y.F., Zerkalov D.V., Govorun A.G., Corpach A.A., Mergievska L.P. "Environment and road transport: a tutorial". - Kyiv: Aristeus, 2006. – P. 292. (Ukr)

2. The climate of the USSR. Zoning and statistical parameters of climatic factors for technical purposes. GOST 16350-80. – Moskva, 1981.– P. 140. (Rus)

3. Gusakov S.V., Sharipov A.Z., Menshish A.A. Improving the environmental performance of automotive engine spark ignition in the warm-up period after cold start // Bulletin of the Russian University of friendship of peoples. Ser. Engineering study. - Moskva, 2011. - No. 3. - P. 60-67. (Rus)

4. Kramarenko, G.V., Nikolaev V.A. Shatalov A.I. Without garage storage of automobiles at low temperatures. - Moskva: Transport, 1984. - P.136 (Rus)

5. Mikulin Y.V., Karnitskiy V.V., Engling B.A. Anglin start cold engine at low temperatures. Moskva: Mashinostroenie, 1971. – P.216. (Rus)

6. Pokrovsky, A.N., Bukin, A.A., Gavrilov D.F. Operation of vehicles with petrol engines at low temperatures. Moskva: Avtotransizdat, 1961. – P. 112. (Rus)

7. Sarbaev V.I., Morozov V.A. Operation of vehicles at low temperatures, Gruzovik. 2013. No. 10. P. 17-20. (Rus)

8. Neyachenko I.I. Evaluation method of mixture formation in gasoline internal combustion engines // Aerospace technics and technology: Coll. Sciences. works. – Kharkiv: KHAI, 2003.– No. 41/6. – P. 16-21. (Rus)

9. Malbert A.A. Design neutralizers of exhaust gases of diesel engines, Improvement of high-speed diesel engines: interuniversity collection of scientific papers. works. - Barnaul: Alt. STU, 1991. - P. 129-142.

10. Ivanov V.N., Erokhov V.I. Fuel economy in road transport. - Moskva: Transport, 1984. – P. 152. (Rus)

#### РЕФЕРАТ

Трифонов Д. М. Дослідження впливу підігріву повітря на паливну економічність та емісію шкідливих речовин у двигуні з іскровим запалюванням. / Трифонов Д. М., Сирота О. В., Карев С. В., Добровольський О. С. // Вісник Національного транспортного університету. Серія “Технічні науки”. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2015. - Вип. 2 (32).

У статті розглянуто питання, пов'язане з підвищенням ефективності згоряння паливоповітряної суміші в умовах низьких температур навколишнього середовища, застосуванням систем підігріву впускного повітря і забезпеченням стабілізації його температури.

Об'єктом експериментальних досліджень є карбюраторний, чотиритактний, чотирициліндровий рядний двигун MeM3-245 з верхнім розміщенням клапанів..

Метою експериментальних досліджень є визначення впливу температури повітря на вході в карбюратор на паливну економічність та емісію токсичних речовин у відпрацьованих газів карбюраторного двигуна з іскровим запалюванням при його прогріві на холостому ходу.

Метод дослідження – проведення експериментальних випробувань.

З метою зниження тривалості теплової підготовки двигуна з іскровим запалюванням до

прийняття навантаження й забезпечення оптимального температурного режиму роботи каталітичного нейтралізатора в період його прогріву, в умовах низьких температур, запропоновано застосовувати підігрів повітря, яке надходить у двигун. Це дозволить підвищити ефективність використання енергії палива, що спалюється й знизити емісію токсичних речовин у відпрацьованих газах при прогріві.

Результати статті можуть бути використані для подальших досліджень, пов'язаних із забезпеченням енергоефективності силових установок автомобілів.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОГРІВ ДВИГУНА, ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ, ПАЛИВНА ЕКОНОМІЧНІСТЬ, ЕМІСІЯ ТОКСИЧНИХ РЕЧОВИН.

#### **ABSTRACT**

Trifonov D.M., Syrota A.V., Karev S.V., Dobrovolsky A.S. Study of the effect of heating the air entering the engine with spark ignition on fuel efficiency and emissions of toxic substances in exhaust gases. Visnyk National Transport University. Series “Technical sciences”. Scientific and Technical Collection. - Kyiv. National Transport University, 2015. - Issue 2 (32).

The article considers the issues related to the combustion efficiency of the fuel-air mixture at low ambient temperatures, the use of heating intake air and stabilize its temperature.

The object of experimental research is carbureted, four-stroke, four-cylinder inline engine MeMZ-245 with top placement of the valves..

The aim of experimental research is to determine the effect of temperature of the air entering the carburetor on fuel efficiency and emissions of toxic substances in exhaust gasoline engine with spark ignition when it is warming up at idle.

Method of the study – experimental test.

With the aim of reducing the duration of the thermal preparation of the spark-ignition engine to accept the load and optimal temperature mode of operation of the catalytic Converter in the warm-up period at low temperatures, it is proposed to apply heated air entering the engine. This will increase the energy efficiency of combustion of fuel and reduce the emission of toxic substances in the exhaust gases when they return.

The results of this paper can be used for further research related to the energy efficiency of power plants cars.

**KEYWORDS:** EXPERIMENTAL STUDY, WARMING UP THE ENGINE, THE INFLUENCE OF AIR TEMPERATURE, FUEL EFFICIENCY, EMISSION OF TOXIC SUBSTANCES.

#### **РЕФЕРАТ**

Трифонов Д. Н. Исследование влияния подогрева воздуха на топливную экономичность и эмиссию вредных веществ в двигателе с искровым зажиганием. / Трифонов Д. Н., Сирота А. В., Карев С. В., Добровольский А. С. // Вестник Национального транспортного университета. Серия "Технические науки". Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2015. - Вып. 2 (32).

В статье рассмотрены вопросы, связанные с повышением эффективности сгорания топливовоздушной смеси в условиях низких температур окружающей среды, применением систем подогрева впускного воздуха и обеспечением стабилизации его температуры.

Объектом экспериментальных исследований является карбюраторный, четырехтактный, четырехцилиндровый рядный двигатель MeMZ-245 с верхним размещением клапанов.

Целью экспериментальных исследований является определение влияния температуры воздуха на входе в карбюратор на топливную экономичность и эмиссию токсичных веществ в отработавших газов карбюраторного двигателя с искровым зажиганием при его прогреве на холостом ходу.

Метод исследования – проведение экспериментальных испытаний.

С целью снижения продолжительности тепловой подготовки двигателя с искровым зажиганием к принятию нагрузки и обеспечения оптимального температурного режима работы каталитического нейтралізатора в период прогрева, в условиях низких температур, предложено применять подогрев воздуха, поступающего в двигатель. Это позволит повысить эффективность использования энергии сжигаемого топлива и снизить эмиссию токсичных веществ в отработавших газах при прогреве.

Результаты статьи могут быть использованы для дальнейших исследований, связанных с обеспечением энергоэффективности силовых установок автомобилей.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОГРЕВ ДВИГАТЕЛЯ, ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА, ТОПЛИВНАЯ ЭКОНОМІЧНОСТЬ, ЭМІСІЯ ТОКСИЧНИХ ВЕЩЕСТВ.

**АВТОРИ:**

Трифонов Дмитро Миколайович, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри двигунів і теплотехніки, e-mail: kafedradvzntu@gmail.com, тел. 280 47 16, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к.303а.

Сирота Олександр Вадимович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри двигунів і теплотехніки, e-mail: kafedradvzntu@gmail.com, тел. 280 47 16, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к.303а.

Карев Станіслав Володимирович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, асистент кафедри двигунів і теплотехніки, e-mail: kafedradvzntu@gmail.com, тел. 280 47 16, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к.303а.

Добровольський Олександр Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри двигунів і теплотехніки, e-mail: kafedradvzntu@gmail.com, тел. 280 47 16, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к.303а.

**AUTHOR:**

Trifonov Dmitry N., National Transport University, senior lecturer of the Department of engines and thermal engineering, e-mail: kafedradvzntu@gmail.com phone 280 47 16, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, room 303a.

Syrota Alexander V., Candidate of Science (Engineering), National Transport University, associate Professor in the Department of engines and thermal engineering, e-mail: kafedradvzntu@gmail.com phone 280 47 16, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, room 303a.

Karev Stanislav V., Candidate of Science (Engineering), National Transport University, assistant of the Department of engines and thermal engineering, e-mail: kafedradvzntu@gmail.com phone 280 47 16, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, room 303a.

Dobrovolsky Alexander S., Candidate of Science (Engineering), associate Professor, National Transport University, associate Professor in the Department of engines and thermal engineering, e-mail: kafedradvzntu@gmail.com phone 280 47 16, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, room 303a.

**АВТОРЫ:**

Трифонов Дмитрий Николаевич, Национальный транспортный университет, старший преподаватель кафедры двигателей и теплотехники, e-mail: kafedradvzntu@gmail.com, тел. +38 044 280 47 16, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к.303а.

Сирота Александр Вадимович, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, доцент кафедры двигателей и теплотехники, e-mail: kafedradvzntu@gmail.com, тел. +38 044 280 47 16, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к.303а.

Карев Станислав Владимирович, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, ассистент кафедры двигателей и теплотехники, e-mail: kafedradvzntu@gmail.com, тел. +38 044 280 47 16, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к.303а.

Добровольский Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры двигателей и теплотехники, e-mail: kafedradvzntu@gmail.com, тел. +38 044 280 47 16, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к.303а.

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

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

Назаренко І.І., доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури.

**REVIEWER:**

Sakhno V.P., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, head of department of cars, Kyiv, Ukraine.

Nazarenko I. I., Doctor of Technical Science, Professor, Kyiv national University of construction and architecture.