

УДК 621.43.056  
UDC 621.43.056

ВПЛИВ ПІДГРІВУ ПОВІТРЯ НА ВПУСКУ НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ СУЧАСНОГО ДВИГУНА З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ

Трифонов Д. М., Національний транспортний університет, Київ, Україна

THE EFFECT OF HEATED INTAKE AIR ON FUEL EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF A MODERN ENGINE WITH SPARK IGNITION

Trifonov D. M., National Transport University, Kyiv, Ukraine

ВЛИЯНИЕ ПОДОГРЕВА ВОЗДУХА НА ВПУСКЕ НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОВРЕМЕННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ

Трифонов Д. Н., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

**Вступ**

Питання енергозбереження на транспорті в умовах щорічного зростання енергоспоживання, рівня негативного впливу на навколишнє середовище і кількості викидів шкідливих речовин здобувають все більшу актуальність. У зв'язку з цим, впровадження заходів з підвищення енергоефективності двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) дозволить економити значні обсяги енергії.

Якісне формування паливоповітряної суміші, насамперед в умовах низьких температур навколишнього повітря, багато в чому визначає повноту згоряння палива і в цілому економічну роботу двигуна. Якість паливоповітряної суміші залежить насамперед від конструкції системи живлення двигуна паливом, експлуатаційних режимів роботи двигуна, а також фізико-хімічних властивостей застосовуваного палива, основною з яких є випаровуваність палива. Випаровуваність палива характеризується швидкістю переходу його з рідкої фази в газоподібну і є найважливішим показником, що визначає процеси сумішоутворення і згоряння паливоповітряної суміші в ДВЗ.

Для інтенсифікації випаровування палива в умовах низьких температур застосовуються різні методи, серед яких - попередній підігрів палива, підігрівання впускного колектора, підігрівання повітря на впуску, пристрої для посилення турбулізації повітряного потоку та інші.

В умовах низьких температур навколишнього повітря зростає коефіцієнт кінематичної в'язкості палива, що призводить до зміни гідравлічного опору форсунок і, отже, витрати палива через них і якості розпилу. З пониженням температури в'язкість палива зростає майже в 10 разів швидше, ніж густина [1].

Забезпечити зниження в'язкості палива, поліпшити якість розпилу, повноту і швидкість випаровування можливо за рахунок підвищення температури повітря, яке надходить у двигун. Підвищення і стабілізація температури повітря на впуску в умовах низьких температур навколишнього повітря може дозволити забезпечити необхідну якість і стабільний склад паливоповітряної суміші, що потрапляє в циліндри двигуна, дозволить забезпечити паливну економічність і понизити кількість шкідливих речовин у відпрацьованих газах ДВЗ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Вплив сезонних умов експлуатації на паливну економічність автомобілів, концентрацію шкідливих речовин у відпрацьованих газах (ВГ) і надійність автомобілів в цілому відображено в дослідженнях багатьох авторів. До сезонних умов відносяться фактори, які періодично змінюються протягом року. Це, насамперед, кліматичні фактори.

Кліматичні фактори в різні періоди року визначаються температурою, вологістю повітря, атмосферним тиском, кількістю опадів, силою і напрямом вітру, тривалістю снігового покриву та ін. [2]. Низькі температури навколишнього повітря справляють істотний вплив на температурний режим агрегатів автомобіля, насамперед двигуна і через його зміну на витрату палива. Найбільш повний аналіз впливу температури навколишнього повітря на витрату палива автомобілями наведено в роботах [3, 4, 5, 6].

Як встановлено в роботі [6] витрата палива при зниженні температури навколишнього повітря збільшується на 10...30%. При цьому збільшення витрат палива пов'язане з підвищенням в'язкості палива, погіршенням його здатності до розпилення та випаровування і, як наслідок, його неповним згоранням.

Вплив цих факторів найбільшою мірою проявляється за роботи ДВЗ в режимах холодного пуску і подальшого прогріву, при цьому спостерігається значне зниження паливної економічності та підвищення викидів шкідливих речовин в продуктах згорання, що обумовлено перш за все погіршенням умов для сумішоутворення і, як наслідок, до нестабільного складу паливоповітряної суміші, яка потрапляє в циліндри ДВЗ.

У залежності від пори року і температурних показників регіону експлуатації автомобіля, процентне співвідношення концентрацій шкідливих речовин від «холодного пуску і подальшого комбінованого прогріву» і «гарячого» автомобіля можуть перебувати в різних співвідношеннях. Для кліматичного району «помірно теплий» при розрахунках були отримані наступні співвідношення: в теплий період 5 – 95%, у холодний період 25 – 75% [7].

Таким чином, в умовах низьких температур експлуатації, погіршення теплового стану двигуна чинить значний вплив на збільшення витрат палива і, як наслідок, збільшення емісії шкідливих речовин у ВГ. Крім того, аналіз виконаних досліджень показав, що існує деяке оптимальне значення температури впускного повітря, при якому витрата палива мінімальна [4].

Мінімальна витрата палива прогрітого ДВЗ спостерігається при температурі на вході в двигун  $+35...+45^{\circ}\text{C}$ , її зміна веде до збільшення витрати палива [8, 9]. Для двигуна ЗМЗ-53 зниження температури повітря в інтервалі від  $+48$  до мінус  $28$  за даними [5], викликає збільшення витрати палива від 2,5 до 16%.

Одним з можливих шляхів поліпшення паливної економічності двигунів з іскровим запалюванням в режимах холодний пуск і прогрів та зменшення емісії шкідливих речовин у ВГ є забезпечення підігріву повітря, яке надходить в двигун та стабілізації температури на рівні  $+35...+45^{\circ}\text{C}$  в подальшому.

#### **Постановка завдання**

Метою експериментальних досліджень є визначення впливу температури повітря, яке надходить в ДВЗ, на паливну економічність та емісію шкідливих речовин у ВГ сучасного двигуна з іскровим запалюванням при його прогріві в режимі холостого ходу.

Об'єктом експериментальних досліджень є 4-х циліндровий двигун з іскровим запалюванням VW BBU фірми Volkswagen, який відповідає нормам токсичності Євро-4. На двигуні встановлена система впорскування палива у впускний колектор розподіленого типу з електронним управлінням і зворотним зв'язком. Система нейтралізації ВГ – 2-х ступінчаста. Два блоки трикомпонентних каталітичних нейтралізаторів діляться на попередній - після впускного колектора та основний.

Експериментальні дослідження проводили в лабораторії випробовування двигунів Національного транспортного університету.

Для забезпечення підігріву впускного повітря використовувалося обладнання з металокерамічним нагрівальним елементом. Випробування проводили на бензині марки А-95 при однакових атмосферних умовах. Пуск та прогрів двигуна здійснювали при температурі навколишнього повітря близько  $+10^{\circ}\text{C}$ , до температури охолоджуючої рідини двигуна  $+85^{\circ}\text{C}$ .

Під час випробувань двигуна оцінювали концентрації шкідливих речовин у ВГ до попереднього блока трикомпонентного каталітичного нейтралізатора - монооксиду вуглецю  $\text{CO}$ , двооксиду вуглецю  $\text{CO}_2$ , вуглеводнів  $\text{C}_m\text{H}_n$  за допомогою газоаналізатора МЕТА та оксидів азоту  $\text{NO}_x$  за допомогою газоаналізатора 344 ХЛ-01 та температуру відпрацьованих газів  $t_{\text{вг}}$  після попереднього блока трикомпонентного каталітичного нейтралізатора.

Крім того, контролювали наступні параметри роботи двигуна: тиск у впускному колекторі  $P_{\text{вк}}$ , температуру охолоджуючої рідини  $t_{\text{ор}}$ , температуру повітря перед дросельною заслінкою  $t_{\text{др}}$ , частоту обертання колінчастого вала  $n$ , кут відкриття дросельної заслінки  $\phi_{\text{др}}$ , кут випередження запалювання  $\theta$ , а також витрату палива, як годинну  $G_{\text{п}}$ , так і загальну витрату за час прогріву ДВЗ (рис 1).

#### **Результати досліджень.**

За результатами проведених досліджень встановлено наступне.

Частота обертання колінчастого вала двигуна змінювалася відповідно до програми прогріву, закладеної в електронному блоці управління двигуна, і змінювалася в середньому від  $1150 \text{ хв}^{-1}$  до  $700 \text{ хв}^{-1}$ .

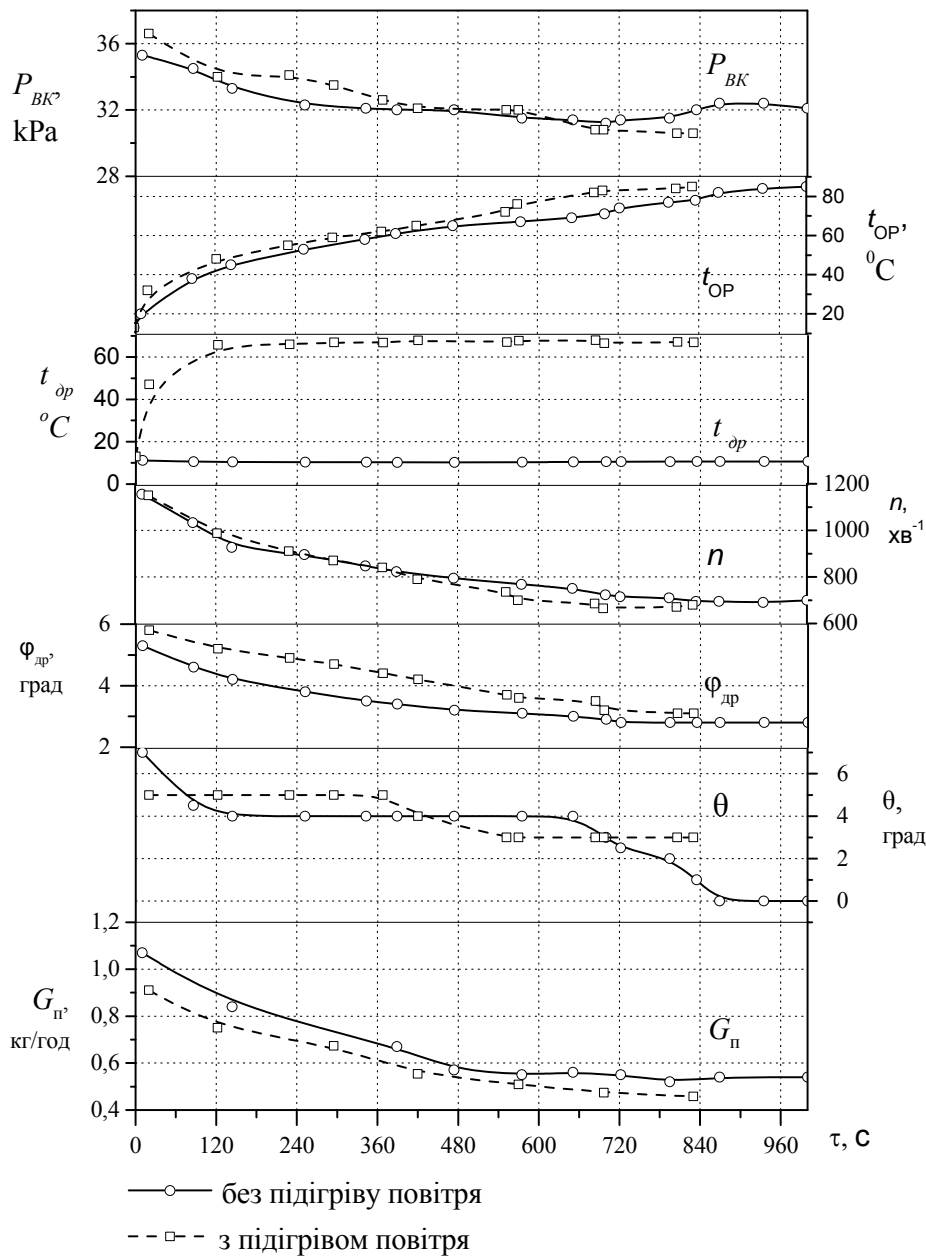


Рисунок 1 – Зміна параметрів роботи двигуна в режимі прогріву

Підігрів повітря на вході в двигун приводить, як зазначалося раніше, до зниження густини повітря і, як наслідок, зниження масового наповнення двигуна. Це призводить до необхідності збільшувати кут відкриття дросельної заслінки і підвищувати тиск у впускному колекторі. Підвищення температури повітря забезпечило збільшення кута відкриття дросельної заслінки в середньому на 9,7% і підвищення тиску у впускному колекторі на 5,9%, що, на думку ряду авторів публікацій, призводить до поліпшення газообміну в ДВЗ. При цьому спостерігається зміна кута випередження запалювання в межах від 5 до 4° кута повороту колінчастого вала, під час прогріву двигуна до температури ОР близько +60 °С.

Прогрів ДВЗ до температури ОР +50...60 °С що, на думку ряду авторів публікацій [1], є оптимальною для початку руху в умовах низьких температур, при підігріві повітря на впуску досягли на 94с швидше, до температури +85 °С на 170с швидше, ніж зі штатною системою.

Годинна витрата палива при використанні підігріву повітря зменшилася в середньому на 9,8% в межах перших 400 с. Витрата палива за час прогрівання системи охолодження до температури +85 °С склала, при підігріві повітря – 0,193 кг, зі штатною системою – 0,249 кг. Економія склала – 0,056 кг., що становить близько 22%.

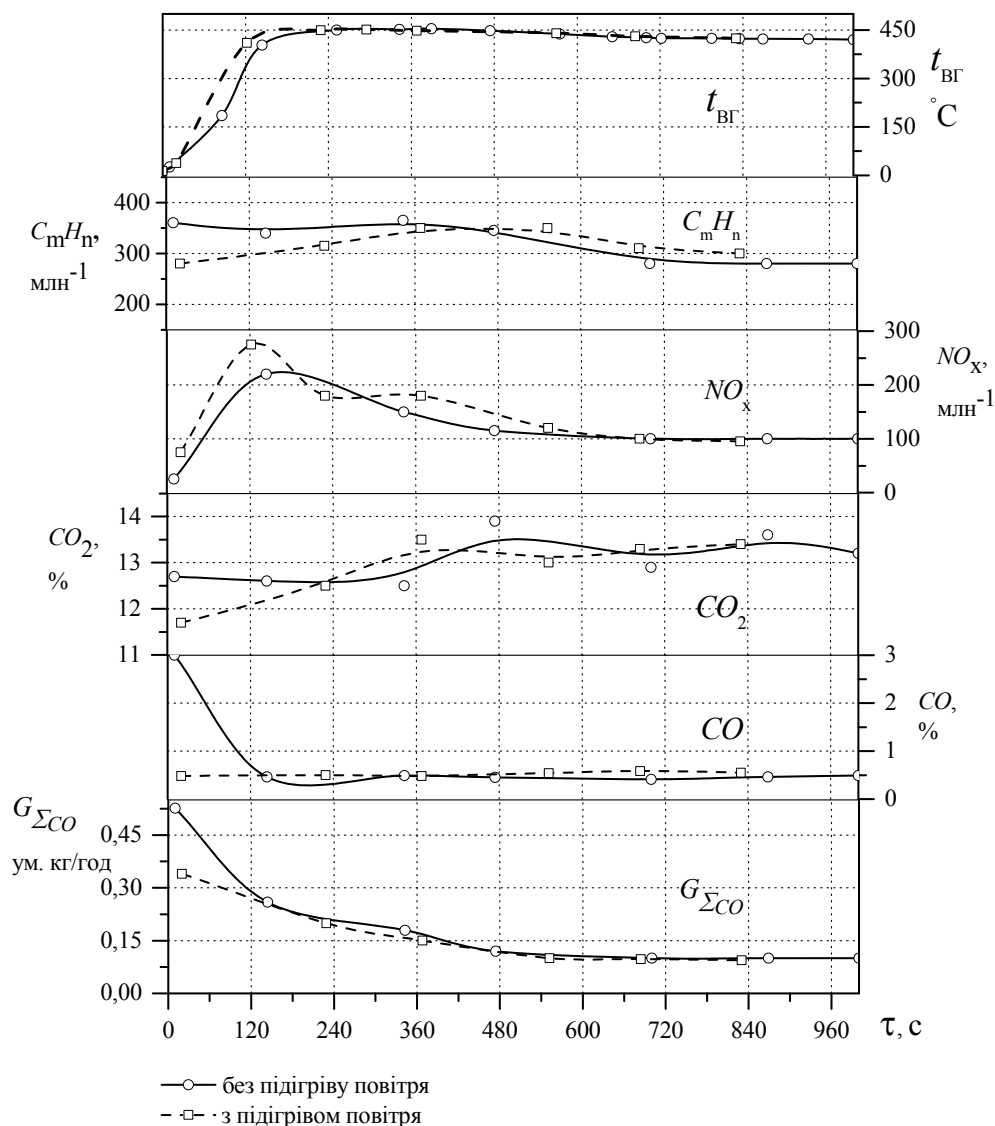


Рисунок 2 – Зміна концентрацій шкідливих речовин у ВГ двигуна до попереднього блока трикомпонентного каталітичного нейтралізатора в режимі прогріву

Температура відпрацьованих газів ( $t_{\text{вг}}$ ) з підігрівом повітря на впуску досягла  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  за 230 с, така ж температура без підігріву була досягнута за 252 с. Час прогріву зменшився на 22 с, що становить близько 9% (рис. 2).

Аналіз отриманих даних щодо концентрацій шкідливих речовин в ВГ двигуна при підігріві повітря на впуску та зі штатною системою показав наступне (рис.2).

Концентрації монооксиду вуглецю, двооксиду вуглецю та вуглеводнів у ВГ в ході прогріву з підігрівом повітря на впуску на початку прогріву спостерігалися значно меншими. Використання підігріву повітря на впуску за результатами досліджень показує дещо більші значення концентрації оксидів азоту у ВГ на початку прогріву. В інтервалі часу з моменту пуску холодного двигуна 240...360 секунд, концентрації  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{C}_m\text{H}_n$  та  $\text{NO}_x$  у ВГ, як з підігрівом повітря на впуску, так і зі штатною системою практично зрівнялися (рис.2).

Розрахунок сумарних масових викидів шкідливих речовин показав, що при використанні підігріву повітря на впуску їх кількість за перші 144 секунди прогріву двигуна зменшується в порівнянні зі штатною системою на 0,093 ум. кг, що складає близько 24 %.

#### Висновки

Таким чином, експериментальні дослідження, які були проведені в лабораторії випробовування двигунів Національного транспортного університету з метою визначення впливу температури повітря на впуску на паливну економічність та емісію шкідливих речовин у ВГ сучасного двигуна з іскровим запалюванням, при його холодному пуску та прогріві в режимі холостого ходу, досить переконливо демонструють доцільність використання підігріву повітря на впуску.

Підігрів повітря на впуску та забезпечення стабілізації його температури дозволяє зробити можливим поліпшення газообміну та сумішоутворення і, як наслідок, підвищення енергоефективності та стабільності роботи ДВЗ в умовах низьких температур навколишнього повітря.

Економія палива за час прогрівання системи охолодження до температури +85 °С склала 0,056 кг., що становить близько 22%.

Сумарні масові викиди шкідливих речовин при використанні підігріву повітря на впуску за перші 144 секунди прогріву двигуна зменшуються в порівнянні зі штатною системою на 0,093 ум. кг, що складає близько 24 %.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Семёнов Н.В. Эксплуатация автомобилей в условиях низких температур — М.: Транспорт, 1993. - 190 с.
2. Канарчук В.Е. Техническое обслуживание, ремонт и хранение автотранспортных средств / Канарчук В.Е., Лудченко А.А., Курников И.П.: Учебник: В 3-х кн. – Кн. 1. Теоретические основы. Технология. – К.: Выща школа, 1991. – 359 с.
3. Трифонов Д.М. Використання теплового акумулятора фазового переходу для забезпечення пуску холодного двигуна та його прогрівання за рахунок поліпшення сумішоутворення / Вербовський В.С., Грицук І.В. // Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. – ПолтНТУ, 2015. Вип. 3 (45). – С. 18-27.
4. Резник Л.Г. Научные основы приспособленности автомобилей к условиям эксплуатации: Дис. д-ра техн. наук. – М., 1981. – 355 с.
5. Виленский Л.И. Исследование влияния низких температур окружающего воздуха на эксплуатационную топливную экономичность автомобиля: Дис. ... канд. техн. наук. - Тюмень, 1979. - 197 с.
6. Говорущенко Н.Я. Автомобильное топливо. Как его экономить. – Харьков: Вища школа, 1979. - 144 с.
7. Шаталова Е.Е. Совершенствование оценки массовых выбросов загрязняющих веществ в отработавших газах автомобильного транспорта: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» / Шаталова Елена Егоровна. – Волгоград, 2007. – 16 с.
8. Бутков П.П. Экономия топлив и смазочных материалов при эксплуатации автомобилей / Бутков П.П., Прокудин И.Н. - М.: Транспорт, 1976. - 133 с.
9. Обобщенный показатель климатических условий эксплуатации / Крамаренко Г.В., Бодров В.А., Баранов Ю.А. и др. // Пути повышения эффективности подвижного состава автомобильного транспорта: Сб. науч. тр. - Ярославль, 1978. - С. 45-50.

#### REFERENCES

1. Semenov N.V. Operation of vehicles at low temperatures — М.: Transport, 1993. - 190 p. (Rus)
2. Kanarchuk V.E. maintenance, repair and storage of vehicles / Kanarchuk V.E., and Ludchenko A. A., Kurnikov I. P.: the Textbook: In 3 vol. – KN. 1. The theoretical foundations. Technology. – К.: Vyshcha SHKOLA, 1991. – 359 p. (Rus)
3. Trifonov D.M. Using heat accumulator phase transition to ensure a cold start the engine and warm it up by improving mixture formation / Trifonov D.M., Verbovskiy S.V., Gritsuk I.V. // Collection of scientific works. Series: industrial engineering, construction. – PoltNTU, 2015. Vol. 3 (45). – S. 18-27. (Ukr)
4. Reznik L.G. Scientific bases of adaptation of cars to the operation conditions: Cand. d-RA tekhn. Sciences. – М., 1981. – 355 p. (Rus)
5. Vilensky L.I. study of the effect of low ambient temperature for operating the fuel efficiency of cars: Dis. ... candidate. tech. Sciences. - Tyumen, 1979. - 197 p. (Rus)
6. Govorushenko N.I. Automotive fuel. How to save money. – Kharkov: Vishcha school, 1979. - 144 p. (Rus)
7. Shatalova E.E. Improvement in the assessment of mass emissions of pollutants in the exhaust gases of motor transport: abstract. dis. on competition of a scientific. the degree candidate. tech. Sciences: 05.22.10 "Operation of motor transport" / Shatalova Elena Egorovna. – Volgograd, 2007. – 16 p. (Rus)
8. Butkov P.P. Savings of fuels and lubricants during the operation / Butkov P.P., Prokudin I.N. - М.: Transport, 1976. - 133 p. (Rus)

9. The generalized indicator of climatic conditions / Kramarenko G.V., Bodrov V.A., Baranov Y.A. // Ways of improving efficiency of rolling stock of motor transport: Coll. scientific. Tr. - Yaroslavl, 1978. - pp. 45-50. (Rus)

#### РЕФЕРАТ

Тріфонов Д.М. Вплив підігріву повітря на впуску на паливну економічність та екологічні показники сучасного двигуна з іскровим запалюванням / Тріфонов Д.М. // Вісник Національного транспортного університету. Серія “Технічні науки”. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2016. – Вип. 2 (35).

У статті представлені результати порівняльних стендових випробувань автомобільного бензинового двигуна фірми Volkswagen моделі VW BBY при холодному пуску і прогріванні зі штатною системою подачі повітря у впускний колектор та пристроєм, який забезпечує підігрівання повітря.

Метою експериментальних досліджень є визначення впливу температури повітря, яке надходить в ДВЗ, на паливну економічність та емісію шкідливих речовин у ВГ сучасного двигуна з іскровим запалюванням при його прогріві в режимі холостого ходу.

Об’єктом експериментальних досліджень є 4-х циліндровий двигун з іскровим запалюванням VW BBY фірми Volkswagen, який відповідає нормам токсичності Євро-4. Система нейтралізації ВГ – 2-х ступінчаста. Два блоки трикомпонентних каталітичних нейтралізаторів діляться на попередній - після впускного колектора та основний.

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 ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН.

#### ABSTRACT

Trifonov D.M. The effect of heated intake air on fuel efficiency and environmental performance of a modern engine with spark ignition // Visnyk National Transport University. Series “Technical sciences”. Scientific and Technical Collection. – Kyiv. National Transport University, 2016. – Issue 2 (35).

The article presents the results of comparative bench tests of automotive gasoline engine of the Volkswagen model VW BBY during cold start and warm-up with the standard air supply system into the intake manifold and the device providing heated air.

The purpose of experimental research is to determine the effect of temperature of air arriving in the engine, on fuel efficiency and emissions of harmful substances in exhaust of a modern engine with spark ignition when it is warming up at idle.

The object of experimental research is the 4-cylinder engine with spark ignition VW BBY company Volkswagen, which corresponds to norms of toxicity of Euro-4. Exhaust gas aftertreatment system – 2-stage. Two blocks of three-way catalytic converters are divided into the previous one after the exhaust manifold and the main.

Research method – experimental test.

With the aim of reducing the duration of thermal preparation of the engine with spark ignition to accept the load and maintenance of an optimum temperature mode of the catalytic Converter during the warm-up period at low temperatures, it is proposed to use heated air entering the engine. This will increase the energy efficiency of fuel combusted and reduce the emission of toxic substances in the exhaust gases during warm-up.

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 THE AIR TEMPERATURE, FUEL EFFICIENCY, EMISSION OF HARMFUL SUBSTANCES.

РЕФЕРАТ

Трифонов Д.Н. Влияние подогрева воздуха на впуске на топливную экономичность и экологические показатели современного двигателя с искровым зажиганием / Трифонов Д. Н. // Вестник Национального транспортного университета. Серия "Технические науки". Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2016. Вып. 2 (35).

В статье представлены результаты сравнительных стендовых испытаний автомобильного бензинового двигателя фирмы Volkswagen модели VW BBU при холодном пуске и прогреве со штатной системой подачи воздуха во впускной коллектор и устройством, обеспечивающим подогрев воздуха.

Целью экспериментальных исследований является определение влияния температуры воздуха, поступающего в ДВС, на топливную экономичность и эмиссию вредных веществ в ВГ современного двигателя с искровым зажиганием при его прогреве в режиме холостого хода.

Объектом экспериментальных исследований является 4-х цилиндровый двигатель с искровым зажиганием VW BBU фирмы Volkswagen, который соответствует нормам токсичности Евро-4. Система нейтрализации ОГ – 2-х ступенчатая. Два блока трехкомпонентных каталитических нейтрализаторов делятся на предыдущий - после выпускного коллектора и основной.

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 нейтрализатора 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 ЭКОНОМИЧНОСТЬ, ЭМИССИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ.

**АВТОР:**

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.

**AUTHOR:**

Trifonov Dmitriy 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.

**АВТОР:**

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.

**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, Київ, Україна.

**REVIEWER:**

Sakhno V. P., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Head of Department of Automobiles, Kyiv, Ukraine.

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

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

Сахно В. П., доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, заведующий кафедрой автомобилей, Киев, Украина.

Назаренко И. И., доктор технических наук, профессор, Киевский национальный университет строительства и архитектуры Киев, Украина.