

© М. П. Цюман, канд.техн.наук, доцент,
в.о. завідувача кафедри двигунів і теплотехніки,
ORCID: 0000-0003-2537-8010,
e-mail: tsuman@ukr.net;
© І. Д. Садовник, аспірант кафедри двигунів
і теплотехніки,
ORCID: 0009-0009-4366-6236,
e-mail: toyota-kiev@ukr.net
(Національний транспортний університет)

© Mykola Tsiuman, PhD, Associate Professor,
Acting Head of Department of Engines and Heating
Engineering,
ORCID: 0000-0003-2537-8010,
e-mail: tsuman@ukr.net;
© Ivan Sadovnyk, postgraduate student of
Department of Engines and Heating Engineering
ORCID: 0009-0009-4366-6236,
e-mail: toyota-kiev@ukr.net
(National Transport University)

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КАТАЛІТИЧНОЇ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА В РЕЖИМІ ПРОГРІВУ

RESEARCH ON THE EFFICIENCY OF CATALYTIC CONVERSION OF EXHAUST GASES FROM A CAR ENGINE DURING WARM-UP MODE

Анотація. Присвячено дослідженню ефективності каталітичної нейтралізації відпрацьованих газів автомобільного двигуна VW BBY (4Ч 7,65/7,56) у режимі прогріву. Метою роботи є визначення впливу конструктивних та експлуатаційних факторів систем нейтралізації шкідливих викидів на ефективність їхньої роботи під час режимів прогріву автомобільних двигунів. Розроблено загальну методику дослідження, яка включає, зокрема, експериментальне дослідження процесів прогріву двигуна та каталітичного нейтралізатора та впливу цих процесів на викиди шкідливих речовин. Встановлено, що під час прогріву двигуна в режимі холостого ходу досягнення хімічних та температурних умов, необхідних для ефективної роботи системи нейтралізації відпрацьованих газів, відбувається в різні моменти часу: раніше досягаються хімічні умови, пізніше температурні. Номінальна ефективність нейтралізації різних шкідливих компонентів відпрацьованих газів (CO, CH, NO) досягається в різні моменти часу за різних температур каталітичного нейтралізатора: по NO через 180 с при температурі 295 °C; по CO через 220 с при температурі 305 °C; по CH через 400 с при температурі 330 °C. Необхідні хімічні умови роботи досягаються через 100 с за температури 230 °C. При цьому, досягнення номінальної ефективності системи нейтралізації практично не залежить від часу виходу на робочий температурний режим двигуна за температурою охолоджуючої рідини. Основний нейтралізатор практично не впливає на рівень викидів у цьому режимі внаслідок недосягнення робочої температури. За результатами експериментальних досліджень з'являється можливість уточнення теоретичної моделі для визначення впливу конструктивних та експлуатаційних факторів систем нейтралізації на викиди шкідливих речовин та встановлення поєднання факторів для зменшення викидів.

Ключові слова: автомобільний двигун, режим роботи, витрата палива, температура каталітичного нейтралізатора, концентрації шкідливих речовин, відпрацьовані гази.

Abstract. The article is dedicated to researching the efficiency of catalytic conversion of exhaust gases from VW BBY car engine (4FS 7.65/7.56) during warm-up mode. The objective of the study is to determine the impact of structural and operational factors of emission control systems on their efficiency during the warm-up phases of car engines. A comprehensive research methodology has been developed, which includes experimental investigations of the engine and catalytic converter warm-up processes and their influence on harmful emissions. It has been established that during engine warm-up at idle, the attainment of chemical and thermal conditions necessary for the effective operation of the exhaust gas neutralization system occurs at different times: chemical conditions are reached earlier, while thermal conditions are reached later. The nominal efficiency of neutralizing various harmful exhaust gas components (CO, HC, NO) is achieved at different times and temperatures of the catalytic converter: for NO in 180 seconds at 295 °C; for CO in 220 seconds at 305 °C; and for HC in 400 seconds at 330 °C. The necessary chemical operating conditions are reached in 100 seconds at 230 °C. Furthermore, the attainment of the system's nominal neutralization efficiency is almost independent of the time taken for the engine to reach its operational temperature based on the coolant temperature. The primary catalytic converter has little impact on emission levels in this mode due to not reaching its operational temperature. The results of the experimental research provide an opportunity to refine the theoretical model for determining the influence of structural and operational factors of emission control systems on harmful emissions and to establish a combination of factors for reducing emissions.

Keywords: car engine, operating mode, fuel consumption, catalytic converter temperature, concentrations of harmful substances, exhaust gases.

Вступ

Актуальність даного дослідження пов'язана з такими передумовами: жорсткі екологічні вимоги до рівня викидів шкідливих речовин автомобільними двигунами; низька ефективність каталітичного нейтралізатора за низької температури реактора в початковий період прогріву двигуна після пуску; суттєва частка (до 30 %) "холодних викидів" у загальній масі викинутих шкідливих речовин під час повсякденної експлуатації автомобіля в міському циклі; складний вплив фізико-хімічних процесів у каталітичному нейтралізаторі на ефективність нейтралізації шкідливих речовин.

Дослідженням впливу процесів прогріву автомобільного двигуна на екологічні показники автомобіля присвячено роботи Гутаревича Ю. Ф., Матейчика В. П., Грицука І. В., Симоненка Р. В., Цюмана М. П., Тріфонова Д. М., Кухтик Н. О. та інших [1-7].

Водночас, у наявних наукових дослідженнях не виявлено результатів визначення впливу конструктивних та експлуатаційних факторів систем нейтралізації шкідливих викидів на ефективність їхньої роботи під час режимів прогріву автомобільних двигунів.

Мета роботи: визначення впливу конструктивних та експлуатаційних факторів систем нейтралізації шкідливих викидів на ефективність їхньої роботи під час режимів прогріву автомобільних двигунів

Основна частина

Загальна методика дослідження передбачає такі етапи:

- розроблення теоретичної моделі для визначення ефективності нейтралізації шкідливих речовин у режимі прогріву двигуна та каталітичного нейтралізатора;
- експериментальне дослідження процесів прогріву двигуна та каталітичного нейтралізатора та впливу цих процесів на викиди шкідливих речовин;
- уточнення математичної моделі для визначення витрати палива та викидів шкідливих речовин автомобілем під час руху в їздовому циклі з урахуванням процесів прогріву двигуна та каталітичного нейтралізатора;

- дослідження впливу конструктивних та експлуатаційних факторів систем нейтралізації шкідливих викидів на ефективність їхньої роботи під час режимів прогріву автомобільних двигунів та на рівень викидів автомобіля під час руху в їздовому циклі.

Експериментальне дослідження процесів прогріву двигуна VW BBU (4Ч7,65/7,56) та каталітичного нейтралізатора виконано в лабораторії випробування двигунів Національного транспортного університету.

Під час досліджень використовувалось таке обладнання:

- система вимірювання поточних параметрів системи управління двигуном на основі використання персонального комп'ютера з програмним забезпеченням, яке дозволяє отримувати значення основних показників швидкісного, навантажувального та теплового режиму роботи автомобільного двигуна в режимі реального часу;

- система вимірювання масової витрати палива на основі використання електронних терезів, на яких встановлено ємність із паливом для живлення двигуна, та секундоміра;

- система вимірювання температури каталітичних нейтралізаторів на основі швидкодіючих термопар, встановлених безпосередньо в монолітні носії каталізаторів;

- система вимірювання концентрацій шкідливих речовин у відпрацьованих газах (далі – ВГ) на основі використання п'ятикомпонентного газоаналізатора BOSCH BEA 060 та персонального комп'ютера з програмним забезпеченням, яке дає змогу отримувати концентрації шкідливих речовин та параметр λ , який відповідає коефіцієнту надміру повітря в паливоповітряній суміші, у режимі реального часу.

У результаті експериментальних досліджень встановлено: параметри швидкісного (n_d) та температурного (t_{op}) режиму роботи двигуна в режимі холостого ходу (**рис. 1-а**); годинні витрати палива ($G_{пал}$) та повітря ($G_{пов}$) під час прогріву двигуна та каталітичного нейтралізатора (**рис. 1-б**);

параметри складу суміші (λ) та концентрації кисню (C_{O_2}) у ВГ (рис. 1-в); концентрації чадного (C_{CO}) та вуглекислого газу (C_{CO_2}) у

ВГ (рис. 1-г); концентрації вуглеводнів (C_{CH}) та оксидів азоту (C_{NO}) у ВГ (рис. 1-д); температурний режим каталітичного нейтралізатора (t_{H1}) (рис. 1-е).

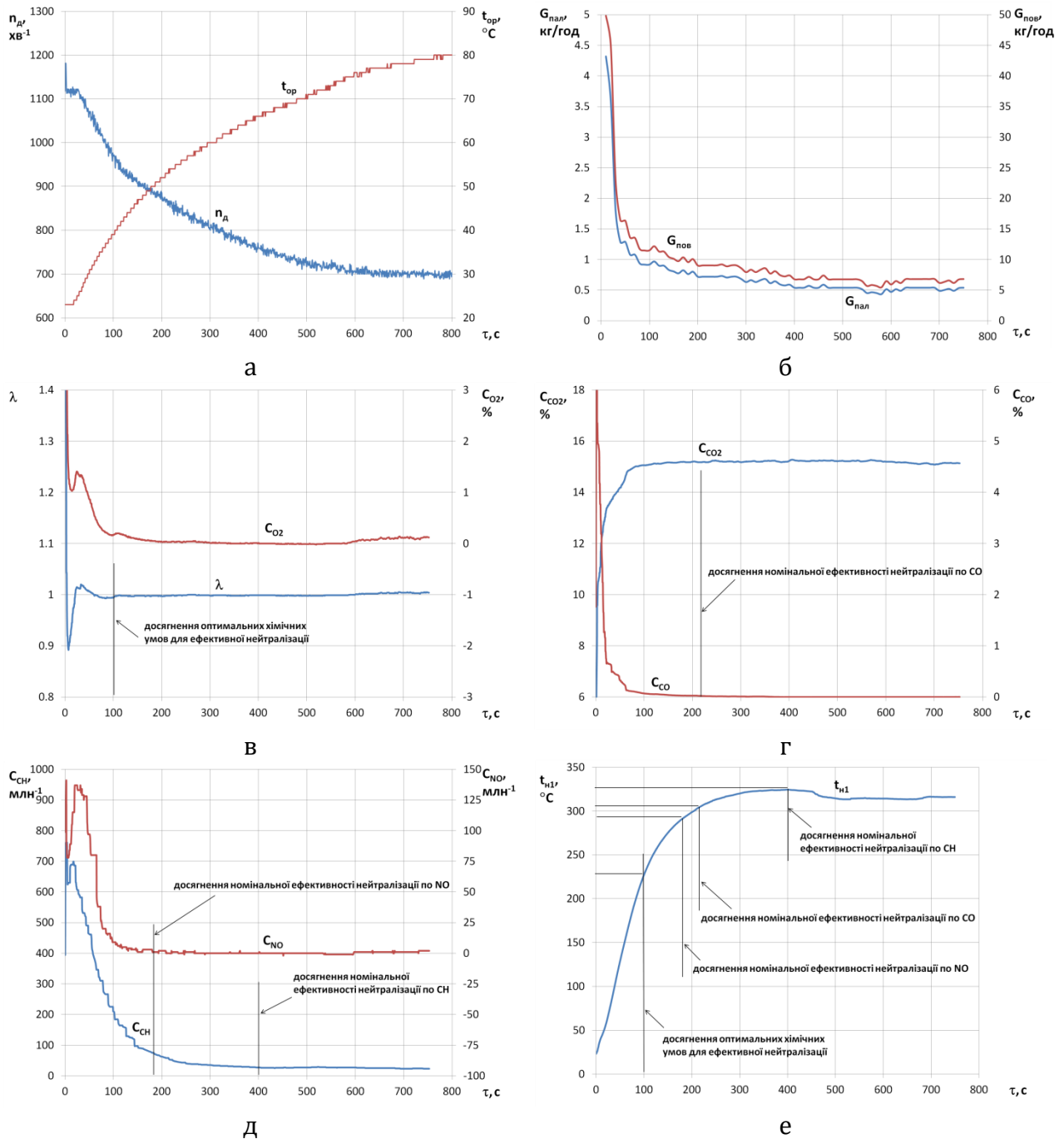


Рис. 1. Показники автомобільного двигуна в режимі прогріву: а – параметри швидкісного та теплового режиму роботи; б – годинні витрати палива і повітря; в – концентрація кисню у ВГ та коефіцієнту надміру повітря; г – концентрації CO та CO₂ у ВГ; д – концентрації вуглеводнів та оксидів азоту у ВГ; е – температура першого каталітичного нейтралізатора

За отриманими значеннями складу суміші по параметру λ , який відповідає коефіцієнту надміру повітря, встановлено, що хімічні умови, необхідні для ефективної роботи системи нейтралізації ВГ,

досягаються через 100 с після пуску двигуна. При цьому, номінальна ефективність нейтралізації по CO досягається через 220 с.

За виміряними концентраціями вуглеводнів (C_{CH}) та оксидів азоту (C_{NO}) у ВГ

встановлено, що досягнення номінальної ефективності нейтралізації по СН відбувається через 400 с, а номінальної ефективності по NO – через 180 с після пуску двигуна.

Температурний режим каталітичного нейтралізатора ($t_{н1}$) при досягненні відповідних хімічних умов та номінальної ефективності системи нейтралізації також різний: номінальна ефективність CO досягається за температури 305 °C; NO – за температури 295 °C, СН – за температури 330 °C, необхідні хімічні умови роботи досягаються за температури 230 °C.

Висновки

За результатами проведених досліджень можна встановити такі висновки:

1. Під час прогріву двигуна в режимі холостого ходу досягнення хімічних та температурних умов, необхідних для ефективно роботи системи нейтралізації ВГ, відбувається в різні моменти часу: раніше досягаються хімічні умови, пізніше температурні;

2. Номінальна ефективність нейтралізації різних шкідливих компонентів ВГ (CO, СН, NO) досягається в різні моменти часу за різних температур каталітичного нейтралізатора: по NO через 180 с за температури 295 °C; по CO через 220 с за температури 305 °C; по СН через 400 с за температури 330 °C. Необхідні хімічні умови роботи досягаються через 100 с за температури 230 °C;

3. Досягнення номінальної ефективності системи нейтралізації практично не залежить від часу виходу на робочий температурний режим двигуна за температурою охолоджуючої рідини;

4. Максимальна температура основного каталітичного нейтралізатора в режимі прогріву на холостому ході за час повного прогріву системи охолодження становить 117 °C, що недостатньо для ефективно нейтралізації. Основний нейтралізатор практично не впливає на рівень викидів у цьому режимі;

5. За результатами експериментальних досліджень з'являється можливість уточнення теоретичної моделі для визначення впливу конструктивних та

експлуатаційних факторів систем нейтралізації на викиди шкідливих речовин та встановлення поєднання факторів для зменшення викидів.

References

1. Gritsuk, I., Gutarevych, Y., Mateichyk, V., & Volkov, V. (2016). Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator. *SAE Technical Paper Series*. <https://doi.org/10.4271/2016-01-0204>
2. Trifonov, D. (2018). Polipshennja palyvnoji ekonomichnosti i ekologhichnykh pokaznykiv avtomobilja vykorystannjam teplovykh akumuljatoriv fazovogho perekhodu dlja proghrivu dvyghuna. PhD Thesis. Retrieved from http://diser.ntu.edu.ua/Trifonov_dis.pdf
3. Gritsuk, I., Volkov, V., Gutarevych, Y., Mateichyk, V., & Verbovskiy, V. (2016). Improving Engine Pre-Start And After-Start Heating by Using the Combined Heating System. *SAE Technical Paper Series*. <https://doi.org/10.4271/2016-01-8071>
4. Gritsuk, I., Pohorletskyi, D., Mateichyk, V., Symonenko, R., Tsiuman, M., Volodarets, M., Bulgakov, N., Volkov, V., Vychuzhanin, V., Grytsuk, Y., Ahieiev, M., & Sadovnyk, I. (2020). Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems). *SAE Technical Paper Series*. <https://doi.org/10.4271/2020-01-2031>
5. Gritsuk, I., Mateichyk, V., Smieszek, M., Volkov, V., Gutarevych, Y., Aleksandrov, V., Symonenko, R., & Verbovskiy, V. (2018). Improving the Vehicular Engine Pre-Start and After-Start Heating by Using the Combined Heating System. *HVAC System*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79467>
6. Kukhtyk, N. (2018). Vyznachennja vytraty palyva ta koncentracij shkidlyvykh rehovyn za proghrivu dvyghuna leghkovogho avtomobilja v umovakh nyzkykh temperatur seredovyshha. *Visnyk Zhytomyrskogho derzhavnogho tekhnologhichnogho universytetu. Serija: Tekhnichni nauky*, 2(82), 88-93. [https://doi.org/10.26642/tn-2018-2\(82\)-88-93](https://doi.org/10.26642/tn-2018-2(82)-88-93)
7. Gritsuk, I. V., Mateichyk, V., Tsiuman, M., Gutarevych, Y., Smieszek, M., & Goridko, N. (2018). Reducing Harmful Emissions of the Vehicular Engine by Rapid After-Start Heating of the Catalytic Converter Using Thermal Accumulator. *SAE Technical Paper Series*. <https://doi.org/10.4271/2018-01-0784>