

А.А. Лисовал, И.В. Парсаданов, Ю.А. Свистун, И.В. Рыкова

## ИСПЫТАНИЯ НЕЙТРАЛИЗАТОРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЯ С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ ЗАЖИГАНИЕМ

В статье представлены результаты сравнительных стендовых испытаний автомобильного бензинового двигателя фирмы Volkswagen модели VW BBU (рабочий объем 1,39 л, мощность 55 кВт при 5000 мин<sup>-1</sup>) при различной комплектации блоков внешней каталитической нейтрализации: первая – серийная комплектация, вторая – вместо основного блока был установлен экспериментальный каталитический нейтрализатор. Для подтверждения результатов оценки эффективности экспериментального нейтрализатора проведены его испытания на газовом двигателе 8Ч10/8,8, который работал на привод электрического генератора (30 кВт).

### Введение

На автомобильных двигателях с искровым зажиганием (бензиновых и газовых) применение внешних каталитических нейтрализаторов является обязательным требованием, которое обеспечивает выполнение европейских норм на выбросы токсических веществ в отработавших газах (ОГ). В Украине на сегодняшний день действуют нормы Евро-4 [1].

Для эффективной работы на автомобиле трехкомпонентного каталитического нейтрализатора необходимо создать условия, чтобы вредные компоненты (CO, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>, NO<sub>x</sub>) в ОГ находились в состоянии химического равновесия. Такие условия создают электронные системы управления двигателем поддержанием стехиометрической смеси с применением обратной связи по лямбда-зонду [2].

В традиционных каталитических нейтрализаторах на основу-носитель из корундового покрытия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) наносят катализаторы – платину и палладий для окислительных реакций по нейтрализации CO и C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> и родий – для восстановительных реакций по нейтрализации NO<sub>x</sub>. Количество катализаторов из благородных металлов составляет 1...3 г и зависит от рабочего объема двигателя [3].

Место установки трехкомпонентного каталитического нейтрализатора на автомобиле определяется необходимым условием поддержания постоянной рабочей температуры каталитических реакций. Катализ в трехкомпонентном нейтрализаторе начинается при температурах свыше 300°C. Верхнее ограничение температур для катализаторов составляет 800...1000°C. При перегреве 1400°C и выше происходит разрушение (плавление) основы-носителя. По этим причинам получила распространение схема раздельного размещения двух трехкомпонентных каталитических нейтрализаторов (рис. 1.)

Первый предварительный блок трехкомпонентного нейтрализатора 3 размещают ближе к цилиндрам двигателя, он адаптирован к работе в зоне высоких температур. Основной трехкомпо-

нентный нейтрализатор 5 размещают под днищем автомобиля и адаптируют к низким пусковым температурам, оптимизируя на высокую степень нейтрализации NO<sub>x</sub> для всех режимов эксплуатации.

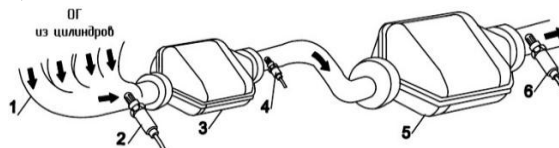


Рис. 1. Размещение блоков каталитических нейтрализаторов на автомобиле:

- 1 - выпускной коллектор; 2 и 6 – лямбда-зонды;
- 3 – первый (предварительный) нейтрализатор;
- 4 - датчик температуры; 5 - второй (основной) нейтрализатор

В связи с тем, что на всех режимах невозможно поддерживать 100-процентную стехиометрическую гомогенную смесь, эффективность нейтрализации C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>, CO, NO<sub>x</sub> в каталитическом нейтрализаторе принято считать на уровне 98 % [2].

К недостаткам внешних каталитических методов очистки ОГ относят трудности подбора нейтрализатора, изготовление и обеспечение длительной эксплуатации самого нейтрализатора, применение достаточно дорогих катализаторов [3].

### Цель и программа испытаний

В Национальном техническом университете «Харьковский политехнический институт» (НТУ «ХПИ») изготовлен экспериментальный трехкомпонентный каталитический нейтрализатор (рис.2).



Рис.2. Вид экспериментального каталитического нейтрализатора конструкции НТУ «ХПИ»

Экспериментальный нейтрализатор рассчитан на расход ОГ из двигателя с рабочим объёмом до 1,6 л. Особенности конструкции катализатора в данной статье не описываются.

**Цель** работы – определение эффективности экспериментального каталитического нейтрализатора, сравнение уровней нейтрализации CO, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> и NO<sub>x</sub> с серийной системой нейтрализации современного автомобильного двигателя с искровым зажиганием.

Внедрение результатов работы направлено на создание и производство в Украине автомобильных каталитических нейтрализаторов для повышения экологической эффективности бензиновых и газовых двигателей.

Испытания были проведены в Национальном транспортном университете на бензиновом двигателе VW BBU фирмы Volkswagen, который соответствует нормам токсичности Евро-4 [4].

Программа испытаний включала:

- подготовку моторной установки, приборов и оборудования для газового анализа ОГ; определение параметров двигателя для подтверждения его технической исправности;
- испытания двигателя с серийной системой нейтрализации ОГ; определение скоростной и токсической характеристик в режиме активного холостого хода, определение нагрузочных и токсичных характеристик при частотах вращения коленчатого вала 1600, 2400 и 3200 мин<sup>-1</sup>, которые охватывают скоростной диапазон европейского городского ездового цикла;
- испытания двигателя на тех же режимах с экспериментальным каталитическим нейтрализатором;
- обработка результатов испытаний, расчет эффективности каждого из блоков нейтрализаторов ОГ по формуле:

$$E_i = \frac{K_{i\text{вх}} - K_{i\text{вых}}}{K_{i\text{вх}}} \cdot 100\%,$$

где K<sub>iвх</sub> – концентрация i-го вредного вещества на входе в нейтрализатор; K<sub>iвых</sub> – концентрация i-го вредного вещества на выходе из нейтрализатора.

#### **Особенности методики и результаты испытаний нейтрализатора на бензиновом двигателе VW BBU**

Двигатель VW BBU 4-х цилиндровый, диаметр цилиндра 76,5 мм, ход поршня 75,6 мм. Степень сжатия 10,5. Номинальная мощность 55 кВт при 5000 мин<sup>-1</sup>, максимальный крутящий момент 126 Н·м при 3800 мин<sup>-1</sup> [5].

На двигателе установлена система впрыскивания топлива во впускной коллектор распределенного типа с электронным управлением и обратной

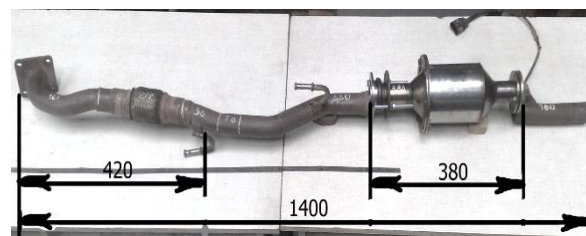
связью. Подсистема обратной связи имеет два кислородных датчика: основной широкополосный λ-зонд для управления составом смеси; дополнительный двухточечный λ-зонд для косвенного контроля работы системы нейтрализации и дополнительного управления составом смеси.

Система нейтрализации ОГ – 2-х ступенчатая с ускоренным прогревом и рециркуляцией ОГ. Два блока трехкомпонентных каталитических нейтрализаторов делятся на предварительный (1-й блок после выпускного коллектора) и основной (2-й блок). Подсистема рециркуляции ОГ – внешняя рециркуляция ОГ с электромагнитным клапаном управления количеством ОГ и датчиком степени открытия клапана рециркуляции [5].

Особенностью сравнительных испытаний являлось то, что экспериментальный нейтрализатор устанавливали на место основного (2-го) блока нейтрализатора. Предварительный (1-й) блок нейтрализатора на протяжении всех испытаний не заменяли.

Размещение экспериментального каталитического нейтрализатора вместо основного (2-го серийного) в системе выпуска двигателя VW BBU показано на рис.3.

Испытания проведены на бензине марки А-95 при одинаковых атмосферных условиях. Для определения концентраций CO, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> и NO<sub>x</sub> применяли газоанализаторы МЕТА и 344 ХЛ-01.



*Рис.3. Размещение экспериментального нейтрализатора вместо основного (2-го) блока в системе выпуска двигателя VW BBU*

Расчетные значения эффективности нейтрализаторов по нагрузочной характеристике для режима 2400 мин<sup>-1</sup> показаны на рис.4, а для всех режимов испытаний со стехиометрическим составом смеси приведены в табл. 1.

На выбранном нагрузочном режиме (рис. 4) решающую роль в очистке ОГ играет предварительный (1-й) нейтрализатор. Создание одинаковых концентраций CO, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> и NO<sub>x</sub> на входе в основные серийный и экспериментальный (2-ые) нейтрализаторы задача практически невыполнимая.

Результаты табл.1 свидетельствуют о работоспособности и хорошей эффективности экспери-

ментального нейтрализатора. Наибольшая эффективность экспериментального нейтрализатора осуществляется при восстановлении  $\text{NO}_x$ , что и требуется от основного (2-го) блока нейтрализаторов ОГ.

**Особенности методики и результаты испытаний нейтрализатора на газовом двигателе 8Ч10/8,8**

Для подтверждения эффективности непосредственно экспериментального каталитического

нейтрализатора конструкции НТУ «ХПИ» были проведены дополнительные испытания самостоятельного блока на газовом двигателе.

Объектом испытаний был выбран газовый двигатель 8Ч10/8,8, который является приводом электрогенератора (30 кВт при 1500 мин<sup>-1</sup>).

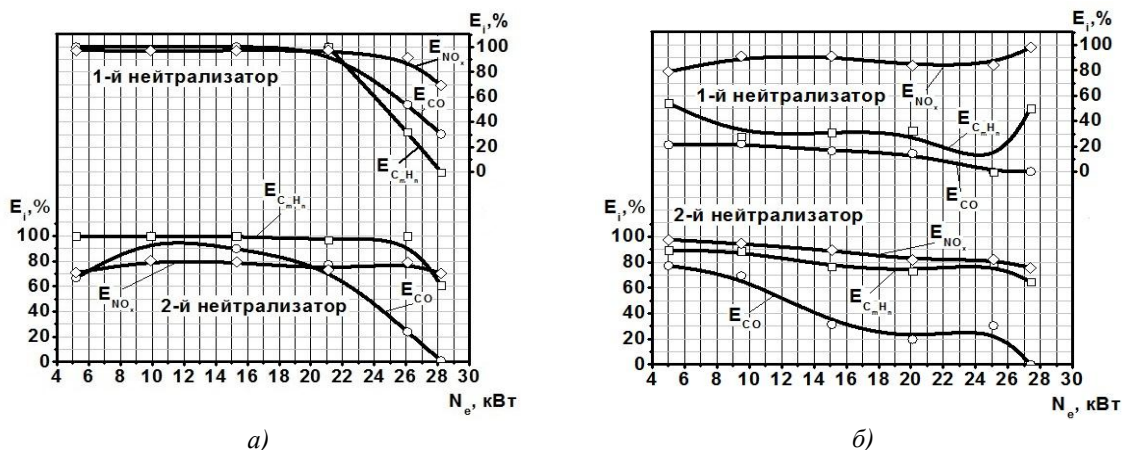


Рис. 4. Эффективность нейтрализаторов по нагрузочной характеристике при 2400 мин<sup>-1</sup>  
а – серийная комплектация; б – с экспериментальным нейтрализатором

Таблица 1. Эффективность основных блоков нейтрализаторов

Эффективность нейтрализации в основном (2-ом) блоке по компонентам	Режимы испытаний		
	4...12 кВт при 1600 мин <sup>-1</sup>	5...20 кВт при 2400 мин <sup>-1</sup>	8...30 кВт при 3200 мин <sup>-1</sup>
$E_{\text{CO}},\%$ – серийный блок	16...70	95...100	50...100
– экспериментальный	10...45	15...20	6...20
$E_{\text{CmHn}},\%$ – серийный блок	35...90	99...100	95...100
– экспериментальный	15...65	30...55	93...100
$E_{\text{NOx}},\%$ – серийный блок	30...95	95...97	97...99
– экспериментальный	80...85	80...91	89...93

Экспериментальный нейтрализатор был установлен на левую половину V-образного блока цилиндров (рис. 5). Такая установка нейтрализатора соответствовала пропускной способности ОГ через него. Каталитический нейтрализатор был размещен максимально близко к выпускному коллектору, что способствовало хорошему прогреву непосредственно катализатора.

Особенностью испытаний на газовом двигателе 8Ч10/8,8 было поддержание постоянного стехиометрического состава смеси и постоянной частоты вращения 1500 мин<sup>-1</sup> независимо от нагрузки с помощью электронного регулятора HEINZMANN, интегрированного в дозатор газового топлива [6]. Моторным топливом был метан.



Рис. 5. Вид слева газовой установки с экспериментальным нейтрализатором

При определении нагрузочной характеристики был проведен поэтапный отбор газов перед нейтрализатором и после него – в специальные термо-

пакеты. Последующий газовый анализ ОГ был выполнен в ГосавтотрансНИИпроекте с помощью частично-поточковой системы МТ-010.

Результаты рассчитанной эффективности экспериментального нейтрализатора на газовом двигателе при 1500 мин<sup>-1</sup> приведены в табл.2.

Таблица 2. Эффективность экспериментального нейтрализатора ОГ на газовом двигателе

Режим нагрузки при 1500 мин <sup>-1</sup>	Значения эффективности нейтрализации		
	E <sub>CO</sub> , %	E <sub>CmHn</sub> , %	E <sub>NOx</sub> , %
холостой ход	43	30	60
50 % нагрузки	6	21	94
100 % нагрузки	6	45	95

Оценку эффективности нейтрализатора на газовом двигателе осуществили только для CO, C<sub>mHn</sub> и NO<sub>x</sub> для последующего сопоставления с результатами испытаниями на бензиновом двигателе VW BBU.

Из табл.2 видно, что при стехиометрическом составе газовой смеси экспериментальный нейтрализатор показал хорошую работоспособность и эффективность. Результаты сопоставимы с результатами испытаний нейтрализатора на двигателе VW BBU.

#### Выводы

Особенностью системы внешней нейтрализации ОГ двигателя VW BBU является наличие двух блоков каталитического нейтрализатора: предварительного, который расположен ближе к выпускным клапанам; основного, который расположен за предыдущим.

Сравнительный анализ результатов испытаний показал, что экспериментальный нейтрализатор ОГ на месте основного блока в системе выпуска двигателя VW BBU может работать практически не хуже серийного блока основного нейтрализатора. Наиболее эффективен катализатор, отвечающий за нейтрализацию оксидов азота.

Дополнительные испытания экспериментального нейтрализатора на газовом двигателе в

качестве самостоятельного блока очистки ОГ подтвердили правильность выводов.

#### Список литературы:

1. Редзюк А.М. Уведения экологічних норм Євро-3 – Євро-6 в Україні, аналіз структури парку автомобілів за екологічними ознаками / А. М. Редзюк, В. С. Устименко, О. А. Клименко [та ін.] // Автошляховик України. – 2011. – №4. – С. 2–7. 2. Системы управления бензиновыми двигателями. Перевод с нем. Первое рус. изд. – М.: ООО Книжное изд. «За рулем», 2005. – 432 с. 3. Двигуни внутрішнього згорання: Серія підручників у 6 томах. Т.5. Екологія ДВЗ / за ред. А.П. Марченко, А.Ф. Шеховцова. – Харків: Прапор, 2004. – 360 с. 4. Наукові основи зовнішньої і внутрішньої циліндрової нейтралізації токсидів відпрацьованих газів транспортних поршневих двигунів з примусовим запалюванням. Вибір і обґрунтування двигуна з примусовим запалюванням для проведення досліджень. Звіт про НДР за держ. бюджетною темою № 26 (проміжний), ДР № 0113U000947 / Національний транспортний ун-т (НТУ); [Керівник: Ю.Ф. Гутаревич]. – Київ, 2014. – 71с. 5. Програма самообучення Skoda Fabia. Технічне описання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://vwts.ru/engine/aia\\_aub/aia\\_aub\\_1\\_4\\_rus.pdf](http://vwts.ru/engine/aia_aub/aia_aub_1_4_rus.pdf). 6. Лисовал А.А. Исследование работы газового двигателя на топливах с различным содержанием углекислого газа / А.А. Лисовал, М.Е. Нижник, Ю.А. Свистун // Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. – №2. – С.8-12.

#### Bibliography (transliterated):

1. Redzyuk A.M. Uvedennya ekologichnih norm Evro-3 – Evro-6 v Ukraini, analiz strukturi parku avtomobiliv za ekologichnimi oznakami / A. M. Redzyuk, V. S. Ustimenko, O. A. Klimenko [ta in.] // Avtozhlyahovik Ukraini. – 2011. – № 4. – S. 2–7. 2. Sistemy i upravleniya benzynovymi dvigatelyami. Perevod s nem. Perevod na rus. izd. – M.: ООО Knizhnoe izd. «За рулем», 2005. – 432 s. 3. Dviguni vnutrishnogo zgorannya: Seriya pidruchnikiv u 6 tomah. T.5. Ekologiya DVZ / za red. A.P. Marchenko, A.F. Shehovtsova. – Harkiv: Prapor, 2004. – 360 s. 4. Naukovi osnovi zovnishnoyi i vnutrishno tsilindrovoyi neytralizatsiyi toksidiv vidpratsovanih gaziv transportnih porshnevih dviguniv z primusovim zapalyuvanniam. Vibir i obgruntuвання dviguna z primusovim zapalyuvanniam dlya provedennya doslidzhen. Zvit pro NDR za derzh. Byudzhetnoyu temoyu №26 (promizhniy), DR № 0113U000947 / Natsionalniy transportniy un-t (NTU); [Kerivnik: Yu.F. Gutarevich]. – Kyiv, 2014. – 71 s. 5. Programma samoobucheniya Skoda Fabia. Tehnicheskie opisaniya [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: [http://vwts.ru/engine/aia\\_aub/aia\\_aub\\_1\\_4\\_rus.pdf](http://vwts.ru/engine/aia_aub/aia_aub_1_4_rus.pdf). 6. Lisoval A.A. Issledovaniy eraboty gazovogo dvigatelya na toplivah s razlichnymy soderzhaniam uglekislogo gaza / A.A. Lisoval, M.E. Nizhnik, Yu.A. Svistun // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 2014. – № 2. – S.8-12.

Поступила 12.06.2015 г.

**Лисовал Анатолий Анатолиевич** – доктор техн. наук, проф., профессор кафедры двигателей и теплотехники Национального транспортного университета (НТУ), г. Киев, Украина, e-mail: li-dvz@bigmir.net

**Парсаданов Игорь Владимирович** – доктор техн. наук, профессор, главный научный сотрудник кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: parsadanov@kpi.kharkov.ua.

**Свистун Юрий Анатольевич** – аспирант кафедры двигателей и теплотехники Национального транспортного университета (НТУ), г. Киев, Украина, e-mail: svystun\_yurec@ukr.net

**Рыкова Инна Витальевна** – канд. техн. наук, с.н.с., старший научный сотрудник кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», rykova@kpi.kharkov.ua.

**ВИПРОБУВАННЯ НЕЙТРАЛІЗАТОРА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ  
ДВИГУНІВ З ПРИМУСОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ**

*А.А. Лісовал, І.В. Парсаданов, Ю.А. Свистун, І.В. Рикова*

У статті представлені результати порівняльних стендових випробувань автомобільного бензинового двигуна фірми Volkswagen моделі VW BBY (робочий об'єм 1,39 л, потужність 55 кВт при 5000 хв<sup>-1</sup>) при різній комплектації блоків зовнішньої каталітичної нейтралізації: перша – серійна комплектація, друга – замість основного блоку був встановлений експериментальний каталітичний нейтралізатор. Для підтвердження результатів оцінки ефективності експериментального нейтралізатора додатково проведено його випробування на газовому двигуні 8СН10/8,8, який працював на привід електричного генератора (30кВт).

**TESTS OF NEUTRALIZER ON EFFICIENCY OF CLEANING OF EXHAUST GASES  
OF ENGINE WITH A FORCE LIGHTING**

*A.A. Lisoval, I.V. Parsadanov, Yu.A. Svistun, I.V. Rykova*

The article presents the results of comparative bench testing of automobile petrol engine Volkswagen models VW BBY (working volume of 1.39 liters, the power of 55 kW at 5000 min<sup>-1</sup>) with various configurations of the external catalytic neutralizer : the first - standard equipment, second - instead of the main unit It was installed an experimental catalyst. In order to confirm the results of evaluation of the effectiveness of the experimental converter conducted its tests on the gas engine 8СН10/8.8, who worked for the electric power generator (30 kW).

Comparative analysis of the test results showed that in general the catalytic neutralizer in place of the main unit in the exhaust system of the engine VW BBY can work virtually no worse than a serial basic converter unit. The most effective catalyst is responsible for the neutralization of nitrogen oxides.

УДК 621.43.068.4 : 628.477 : 519.876.5

*С.А. Вамболь, А.П. Строков, В.В. Вамболь, А.Н. Кондратенко*

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

*Рассмотрены виды источников негативного влияния на окружающую природную среду поршневых двигателей внутреннего сгорания – поллютанты, вредные факторы и отходы. На основе системного подхода и принципа многоуровневой декомпозиции предложены обшая и детализированная схемы системы управления экологической безопасностью эксплуатации энергетических установок с ДВС, а также выполнена формализация решения задачи ее построения.*

**Постановка проблемы**

Существенное негативное влияние на равновесие в окружающей природной среде (ОПС) и экологическую безопасность (ЭБ) в урбосистемах в Украине оказывает транспорт и энергетические установки (ЭУ), оснащенные поршневыми ДВС. ДВС являются источниками нескольких видов загрязнения ОПС (поллютантов, вредных факторов и отходов), к которым следует отнести следующие:

1) вещества:

а) твердые – детали механизмов и систем двигателя, а также корпусные (в том числе и одноразовые), исчерпавших ресурс или вышедших из строя;

б) жидкие – топлива, масла, охлаждающие жидкости (ОЖ), электролиты, консистентные смазки;

в) газообразные – токсичные компоненты ОГ и аэрозоли твердых частиц (ТЧ) в них, испарения жидких загрязнителей, парниковые газы [8];

2) энергетическое загрязнение:

а) электромагнитные поля – от электронных частей систем автоматического управления (САУ) и систем автоматического регулирования (САР);

б) шум и вибрации – механические, аэродинамические, гидравлические, химические источники механических колебаний;

в) теплота – вся энергия, выделяющаяся при окислении топлива, в конечном счете, превращается в тепловую и идет на нагрев ОПС;

3) информационное загрязнение – от электронных частей САУ и САР.

Все загрязнители-вещества (твердые – отходы, жидкие и газообразные – поллютанты) должны соответствующим образом обезвреживаться и/или рециклироваться (утилизироваться). Все виды энергетического загрязнения (вредные факторы) должны сокращаться, поскольку являются диссипативными. Информационные загрязнения еще недостаточно исследованы.

Общим является одно – сокращение отходов