

УДК 621. 433  
UDC 621. 433

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАМІЩЕННЯ ОСНОВНОГО ГАЗОВОГО ПАЛИВА ВУГЛЕКИСЛИМ ГАЗОМ

Лісовал А.А., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Свистун Ю.А., Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Нижник М.Є., Національний транспортний університет, Київ, Україна

## EFFICIENCY OF MAIN REPLACEMENT GASEOUS FUELS WITH CARBON DIOXIDE

Lisoval A.A., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Svystun Yu.A., National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Nyzhnyk M.Ye., National Transport University, Kyiv, Ukraine

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАМЕЩЕНИЯ ОСНОВНОГО ГАЗОВОГО ТОПЛИВА УГЛЕКИСЛЫМ ГАЗОМ

Лисовал А.А., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Свистун Ю.А., Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Нижник М.Е., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Вступ. Застосування в ДВЗ альтернативних палив, які б могли замінити традиційні палива нафтового походження та природний газ актуально на сьогодні. Альтернативою метану (природного газу) є гази, які добуті нетрадиційним методом або гази які закладені в нетрадиційних місцях. Такими газами можуть бути: біогази, шахтні, сланцеві та інші гази [1-3].

На відміну від природного газу ( $CH_4$ ), в альтернативних газових паливах, крім метану, містяться інші негорючі речовини, очистка від яких дороговартісний і трудомісткий процес. Від вмісту негорючих часток залежать процеси сумішоутворення та характер згорання газового палива в циліндрах ДВЗ [1].

Використання альтернативних газових палив в газоелектричних установках з приводом від ДВЗ дозволяє розширити номенклатуру традиційних нафтових палив та зменшити викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами [4].

Аналіз попередніх досліджень. Проаналізовано за літературними джерелами різні методи нейтралізації відпрацьованих газів (ВГ) [5]. Широко поширений метод зовнішньої нейтралізації ВГ. Цей метод було порівняно на вітчизняних двигунах із штатною карбюраторною системою живлення та електронною системою впорскування палива. Більш ефективними нейтралізаторами вважаються трикомпонентні нейтралізатори. Ефективність цього методу залежить від сумішоутворення.

Метою є дослідження енергетичних показників та зменшення забруднення навколишнього середовища газовим двигуном при застосуванні газових палив з різним об'ємним відсотковим вмістом горючих речовин.

Об'єктом експериментальних досліджень був газовий двигун 8ГЧ10/8,8 номінальною потужністю 30 кВт з встановленим в системі випуску трикомпонентним каталітичним нейтралізатором, технічна характеристика, якого наведена в праці [6].

Автоматична система дозування газового палива, яка була розроблена і виготовлена спільно із НАН Інститутом Газу, яка була доповнена системою фізичного моделювання альтернативних газових палив.

Для створення моделі газового палива за основу було взято дві складові: горючу –  $CH_4$ , та негорючу складову – вуглекислий газ ( $CO_2$ ).

Принципова схема моторної установка зображена на рис. 1. Внесені зміни до системи живлення та системи випуску ВГ газового двигуна виділені жирним [7, 8].

Для того щоб змоделювати роботу на альтернативних паливах, газова система живлення була додатково обладнана додатковою газовою лінією подачі  $CO_2$ .

Для хімічного аналізу відпрацьованих газів (ВГ) до і після нейтралізатора, було встановлено додаткові елементи відбору та транспортування проб ВГ газового двигуна.

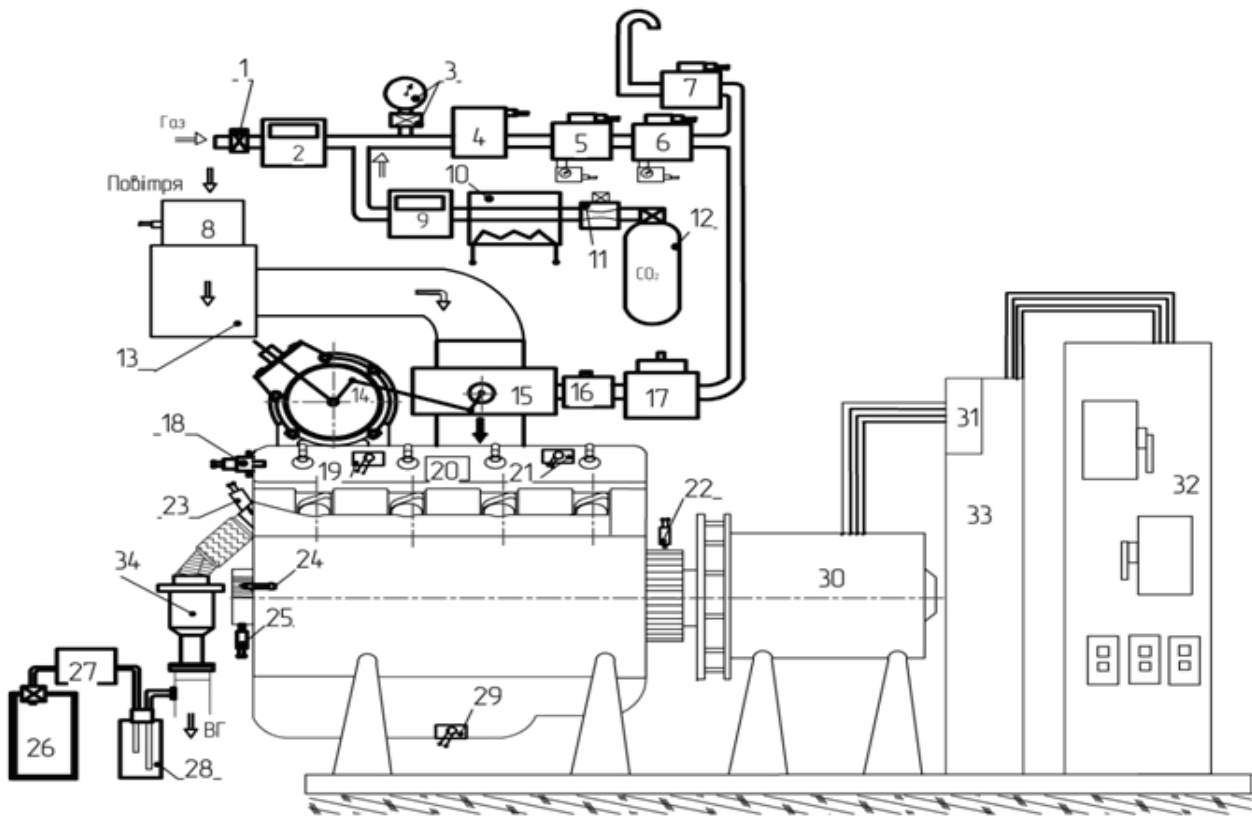


Рисунок 1 – Принципова схема моторної установки: 1 – двопозиційний газовий кран; 2, 9 – лічильники газу; 3 – мономер зі стравлювальним клапаном; 4 – фільтрувальний елемент; 5-7 – електромагнітні клапани; 8 – повітряний лічильник; 10 – нагрівач; 11, 17 – газові редуктори; 12 – балон з CO<sub>2</sub>; 13 – повітряний ресивер; 14 – виконуючий механізм моделі StG 2010-SV; 15 – змішувач із дросельною заслінкою; 16 – регулятор складу суміші; 18 – тензодатчик тиску в циліндрі двигуна; 19, 20 – датчики температури охолодної рідини; 22 – датчик частоти обертання колінчастого вала; 23 – датчик температури ВГ; 24, 25 – мітка та датчик ВМТ; 26, 27, 28 – термопакет, насос та волого осушувач ВГ; 29 – датчик температури оливи; 30 – генератор ДГФ82-4Б; 31 – електронний регулятор фірми HEINZMANN; 32, 33 – реостати та шафа управління.

Предмет дослідження – енергетичні показники та концентрації шкідливих речовин у ВГ до і після каталітичного нейтралізатора, ефективність нейтралізації.

Методи дослідження – експериментальні, розрахунково-експериментальні.

Методика експериментальних досліджень. Дослідження двигуна 8ГЧ10/8,8 у складі газоелектричної установки і визначення його показників проводили згідно ДСТУ 4277:2004 «Норми і методи вимірювань вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів з двигунами, що працюють на бензині або газовому паливі».

Зміну навантаження на двигун і генератор здійснювали імітатором зовнішнього навантаження (реостатами) через шафу управління.

Подача CO<sub>2</sub> регулювалася відповідно стабільності роботи самої установки. Установка в нормальних умовах за допомогою ПД-регулятора підтримує частоту обертання колінчастого вала 1500хв<sup>-1</sup>. Стабільність роботи ПД-регулятора, та його елементів перевірялась методом різкого накидання навантаження (до 100%) та скидання (до 0%).

Таким чином заміщували природний газ вуглекислим газом в межах до 40% [1].

Для хімічного аналізу ВГ до і після нейтралізатора проби були відібрані у термопакети. Хімічний аналіз ВГ був проведений в ДП «ДержавтотрансНДІпроект» за допомогою частково-поточної системи «МТ-010».

Результати досліджень. Виконали експериментальні дослідження на двигуні 8ГЧ10/8,8, який працював на чистому метані. У випускні систему газового двигуна було встановлено трикомпонентний каталітичний нейтралізатор. Відбір ВГ виконували до і після нейтралізатора при 0 %, 50 %, 100 % навантажень та для різних складів газоповітряної суміші, за постійної частоти обертання 1500 хв<sup>-1</sup>.

За серією навантажувальних характеристик була визначена паливна економічність газового двигуна для різного складу паливо-повітряної суміші. Збіднення паливо-повітряної суміші покращує паливну економічність (рис.2).

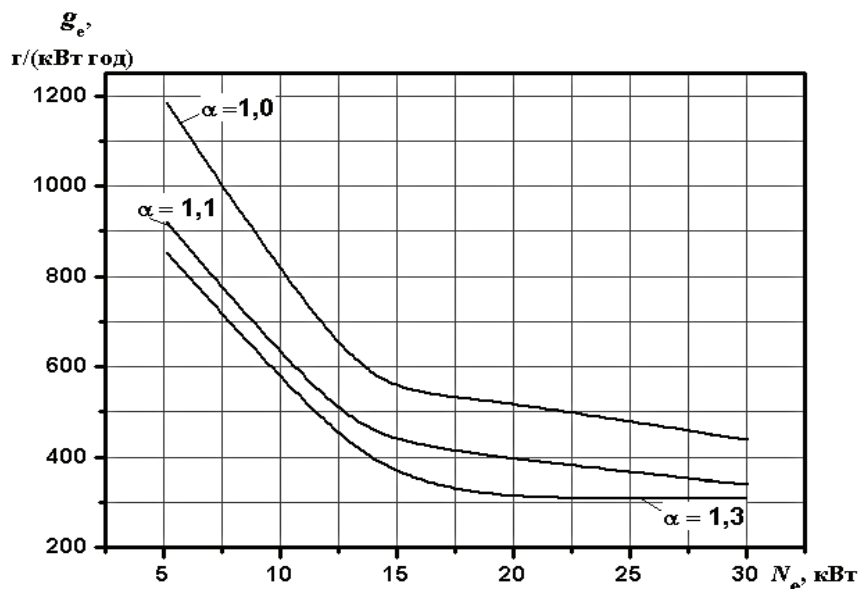


Рисунок 2 – Залежності питомих ефективних витрат газопалива від складу суміші та навантаження

Значення питомої ефективної витрати газопалива в залежності від складу суміші та навантаження зведені до табл. 1. Питома витрата газопалива на номінальному режимі при  $\alpha = 0,98$  на 12% більше, а ніж при  $\alpha = 1,17$  та на 14% при  $\alpha = 1,3$ .

Таблиця 1 – Питома ефективна витрата газопалива за ефективною потужністю газового двигуна

$N_e$ , кВт	Питома ефективна витрата газопалива, г/(кВт·год)				
	$\alpha = 0,98$	$\alpha = 1$	$\alpha = 1,1$	$\alpha = 1,17$	$\alpha = 1,3$
5	1183,95	1065,84	919,86	832,24	854,09
12	643,59	638,95	496,45	460,53	449,24
15	540,81	506,58	432,86	421,82	360,82
19	528,22	468,25	401,15	376,6	304,6
29	450,34	415,23	347,98	344,16	310,61

В процесі експериментальних досліджень були визначені навантажувальні характеристики для сталої частоти  $1500 \text{ хв}^{-1}$ .

За допомогою регулятора складу суміші в режимах холостого ходу і малих навантажень двигун був відрегульований на, практично, стехіометричний склад паливоповітряної суміші ( $\alpha \approx 1$ ) (рис.3,а). По мірі збільшення навантаження суміш збіднюється (коефіцієнт надміру повітря  $\alpha$  зростає до  $1,02 \dots 1,05$ ). В зоні великих навантажень суміш поступово збагачується і при повному навантаженні коефіцієнт надміру повітря  $\alpha \approx 0,98$ .

Побудовані характеристики паливної економічності та інші параметри двигуна, які відчутно змінювалися від збільшення навантаження. З газового аналізу ВГ, було побудовано характеристику концентрацій шкідливих речовин у ВГ за зміною потужності (рис.3, б).

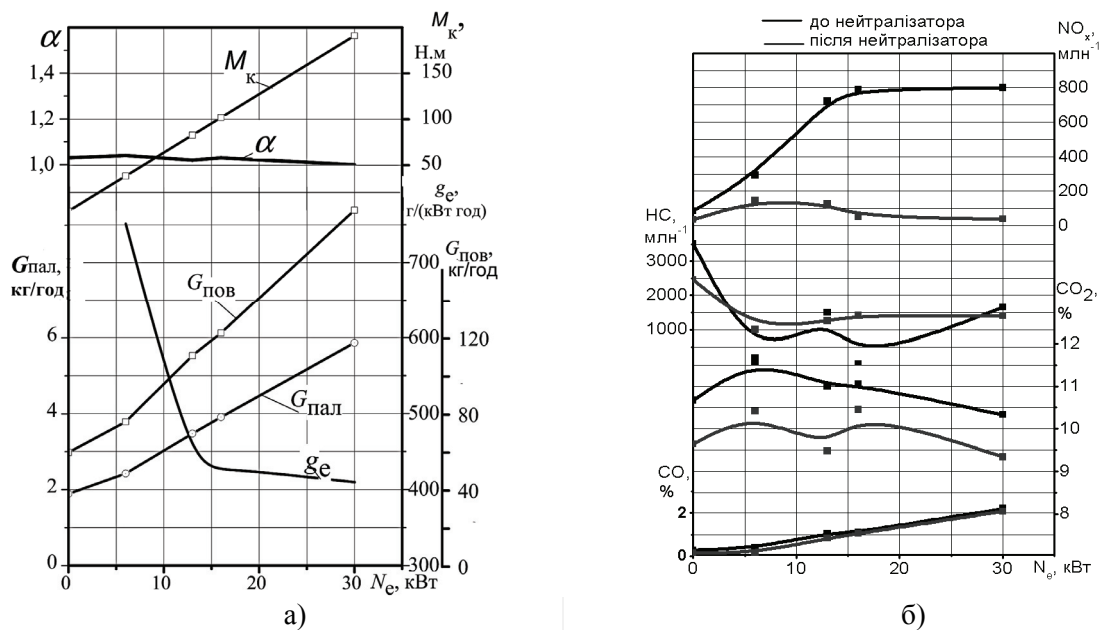


Рисунок 3 – Навантажувальна характеристика газового двигуна 8ГЧ10/8,8:  
 а) показники роботи двигуна; б) концентрації шкідливих речовин у ВГ.

Щоб дослідити ефективну роботу трикомпонентного каталітичного нейтралізатора, за відомою формулою (1), порахували його ефективність

$$E_i = \frac{K_{i\text{ вх}} - K_{i\text{ вих}}}{K_{i\text{ вх}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де  $K_{i\text{ вх}}$  – концентрація шкідливих речовин на вході;  
 $K_{i\text{ вих}}$  – концентрація шкідливих речовин на виході.

Значення ефективності трикомпонентного каталітичного нейтралізатора занесли до таблиці 2, так як краща ефективність при стехіометричних сумішах щодо нейтралізації оксидів азоту (NOx) та оксидів вуглецю (CO).

Таблиця 2 – Ефективність трикомпонентного нейтралізатора при  $\alpha = 1$

	При навантаженні:		
	0%	50%	100%
$E_{\text{NOx}}, \%$	59,7	93,4	95,2
$E_{\text{HC}}, \%$	42,8	5,4	5,8
$E_{\text{CO}}, \%$	30,2	20,6	44,5

Висновки. За результатами проведених випробувань можна стверджувати, що ефективність нейтралізації нейтралізатора краща при стехіометричних сумішах, але паливна економічність вища при збіднених сумішах, тому це ще раз підтверджує, те що потрібні додаткові дослідження, щодо індивідуальної настройки газового двигуна.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- Лисовал А.А. Исследование работы газового двигателя на топливах с разным содержанием углекислого газа / А.А. Лисовал, М.Е. Нижник, Ю.А. Свистун // Двигатели внутреннего сгорания. – Х.: НТУ «ХПИ», 2014. – Вип. 2. – С. 8 – 12.
- Васильев И.П. Методы нейтрализации вредных выбросов и парниковых газов при работе двигателей на альтернативных топливах/ И.П. Васильев // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. – № 2. – С. 91-95.

3. Канило П.М. Будущее автотранспорта – альтернативные топлива и канцерогенная безопасность [Электронный ресурс] / П. М. Канило, М. В. Сарапина // Автомобильный транспорт . - 2012. - Вып. 31. - С. 40-49.

4. Марков В.А. Работа дизелей на нетрадиционных топливах / В.А. Марков, А.И. Гайворонский, Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко. – М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2008. – 464 с.

5. Наукові основи зовнішньої та внутрішньоциліндрової нейтралізації токсидів відпрацьованих газів транспортних поршневіх двигунів з примусовим запалюванням: звіт про НДР (проміжний) : / М-во освіти і науки України : Нац. транс-ний ун-т; кер. Гутаревич Ю.Ф. – № держреєстрації 0113U00947 С ; Інв. № 0213U008215. – К.: 2013. – 65 с.

6. Лісовал А.А. Дослідження каталітичного нейтралізатора відпрацьованих газів на двигуні MeM3-245 / А.А. Лісовал, О.В. Сирота, М.Є. Нижник, Є.В. Шуба // Вісник НТУ. – К.: НТУ – 2013. – Вип. 28.

7. Лісовал А.А. Моторна установка для індицирування робочого процесу газового двигуна / А.А. Лісовал, М.Є. Нижник // Вісник Національного транспортного університету: В 2-х частинах: Ч. 1. – К.: НТУ, 2012. – Вип. 26. – С. 159 – 165.

8. Лісовал А.А. Когенераційна установка з газовим двигуном / А.А. Лісовал, М.Є. Нижник, В.С. Вербовський // Водний транспорт. Збірник наукових праць. Київської держ. академії водного транспорту ім. Петра Конашевича-Сагайдачного. К.: КДАВТ, 2013. - №3 (18). – С. 51-55.

#### REFERENCES

1. Lisoval A.A. Issledovanie raboty gazovogo dvigatelya na toplivah s raznyim sodержaniem uglekislogo gaza / A.A. Lisoval, M.E. Nizhnik, Yu.A. Svistun // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – Н.: NTU «НПИ», 2014. – Vip. 2. – S. 8 – 12 (Rus).

2. Vasilev I.P. Metodyi neytralizatsii vrednyih vyibrosov i parnikoviyh gazov pri rabote dvigateley na alternativnyih toplivah / I.P. Vasilev // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 2010. – № 2. – S. 91-95 (Rus).

3. Kanilo P. M. Buduschee avtotransporta – alternativnyie topliva i kantserogennaya bezopasnost [Elektronniy resurs] / P. M. Kanilo, M. V. Sarapina // Avtomobilnyi transport . - 2012. - Vyip. 31. - S. 40-49 (Rus).

4. Markov V.A. Rabota dizeley na netraditsionnyih toplivah / V.A. Markov, A.I. Gayvoronskiy, L.V. Grehov, N.A. Ivaschenko. – М.: Izd-vo «Legion-Avtodata», 2008. – 464 s (Rus).

5. NaukovI osnovi zovnlshnoYi ta vnutrlshnotsillndrovoYi neytrallzatsIYi toksidlv vldpratsovanih gazlv transportnih porshnevih dvigunlv z primusovim zapalyuvannyam: zvlIt pro NDR (promlzhniy) : / M-vo osvIti I nauki UkraYini : Nats. trans-niy un-t; ker. Gutarevich Yu.F. – № derzhreestratsIYi 0113U00947 С ; Inv. № 0213U008215. – К.: 2013. – 65 s (Ukr).

6. Lisoval A.A. DoslIdzhennya katalItichnogo neytrallzatora vldpratsovanih gazlv na dviguni MeMZ-245 / A.A. Lisoval, O.V. Sirota, M.E. Nizhnik, E.V. Shuba // VIsnik NTU. – К.: NTU – 2013. – Vip. 28 (Ukr).

7. Lisoval A.A. Motorna ustanovka dlya Inditsiruvannya robochogo protsesu gazovogo dviguna / A.A. Lisoval, M.E. Nizhnik // Visnik NatsIonalnogo transportnogo unIversitetu: V 2-h chastinah: Ch. 1. – К.: NTU, 2012. – Vip. 26. – S. 159 – 165 (Ukr).

#### РЕФЕРАТ

Лісовал А.А. Ефективність заміщення основного газового палива вуглекислим газом / А.А. Лісовал, Ю.А. Свистун, М.Є. Нижник // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2015. – Вип. 1 (31).

В статті розглянуто експериментальні дослідження на двигуні 8ГЧ10/8,8 із зовнішньою нейтралізацією шкідливих речовин.

Метою досліджень є визначення енергетичних показників та зменшення забруднення навколишнього середовища газового двигуна при застосуванні газових палив з різним об'ємним відсотковим вмістом горючих речовин.

Об'єктом експериментальних досліджень була газоелектрична установка номінальною потужністю 30 кВт, що має в складі газовий двигун, з встановленим в системі випуску трикомпонентним каталітичним нейтралізатором.

Предмет дослідження – паливна економічність та концентрації шкідливих речовин у ВГ до і після каталітичного нейтралізатора, ефективність нейтралізації.

Методи дослідження – експериментальні, розрахунково-експериментальні.

Для нейтралізації шкідливих речовин, на випускну систему двигуна 8ГЧ10/8,8 було встановлено трикомпонентний каталітичний нейтралізатор. В статті описано схему експериментальної установки, яка дозволила визначити основні енергетичні та екологічні показники газового двигуна.

Перед дослідженням на двигуні 8ГЧ10/8,8 було виставлено відповідний коефіцієнт надміру повітря за допомогою регулятора складу суміші.

Експериментально визначені навантажувальні характеристики при 0%, 50%, 100%. Визначено ефективність нейтралізації нейтралізатора при цих навантаженнях.

За результатами проведених випробувань можна стверджувати, що ефективність нейтралізації трикомпонентного нейтралізатора встановленого в системі випуску залежить від складу суміші. Дослідження показали, що ефективність нейтралізатора вища при стехіометричному складі суміші. Зроблені висновки, що до дослідження. Даний вид нейтралізатора можна використовувати для покращення екологічності газового двигуна

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ, ІСКРОВЕ ЗАПАЛЮВАННЯ, ЗОВНІШНЯ НЕЙТРАЛІЗАЦІЯ, ВІДПРАЦЬОВАНІ ГАЗИ.

#### ABSTRACT

Lisoval A.A., Svistun Yu.A., Nyzhnyk M.Ye. Efficiency of main replacement gaseous fuels with carbon dioxide. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2015. – Issue 1 (31).

In the article of the experimental research on the engine 8GCH10/8.8 external neutralization of harmful substances.

The purpose of research is to determine energy performance and reduce pollution of the gas engine when using gaseous fuels with varying volumetric percentage of combustible materials.

The object of experimental research was gas-electrical setting with the nominal capacity of 30 kW, which has composed gas engine with installed in the exhaust system ternary catalytic converter.

Purpose of the study - fuel economy and concentration of pollutants in the EG before and after the catalytic converter efficiency of neutralization.

Methods of experimental research. To neutralize harmful substances in the engine 8GCH10 / 8.8 in exhaust system was installed three-component catalytic converter. The article describes the scheme of the experimental setup, which allowed to identify the main energy and environmental performance of gas engine.

Prior research on this engine 8GCH10/8.8 was adjusted air ratio with by of the regulator composition of the mixture.

Experimentally determined loading characteristics at 0%, 50%, 100%. Efficiency neutralization neutralizer counted in these activities engine.

According to test results could be argued that the effectiveness neutralize the catalyst installed in the exhaust system, depending on the composition of the mixture.

Studies have shown that greater efficiency of the catalytic converter with stoichiometric mixture.

Conclusions. This type of converter can be used to improve the environmental performance of gas engine.

**KEYWORDS:** INTERNAL COMBUSTION ENGINE, SPARK IGNITION, EXTERNAL NEUTRALIZATION, EXHAUST GASES.

#### РЕФЕРАТ

Лисовал А.А. Эффективность замещения основного газового топлива углекислым газом / А.А. Лисовал, Ю.А. Свитун, М.Е. Нижник // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2015. – Вып. 1 (31).

В статье рассмотрены экспериментальные исследования на двигателе 8ГЧ10/8,8 с внешней нейтрализацией вредных веществ.

Целью исследований является определение энергетических показателей и уменьшение загрязнения окружающей среды газового двигателя при применении газовых топлив с различным объемным процентным содержанием горючих веществ.

Объектом экспериментальных исследований была газoeлектрическая установка с номинальной мощностью 30 кВт, что имеет в составе газовый двигатель, с установленным в системе выпуска трехкомпонентный каталитический нейтралізатор.

Предмет исследования - топливная экономичность и концентрации вредных веществ в ОГ до и после каталитического нейтралізатора, эффективность нейтралізації.

Методы исследования - экспериментальные, расчетно-экспериментальные.

Для нейтрализации вредных веществ, на выпускную систему двигателя 8ГЧ10/8,8 было установлено трехкомпонентный каталитический нейтрализатор. В статье описана схема экспериментальной установки, которая позволила определить основные энергетические и экологические показатели газового двигателя.

Перед исследованием на двигателе 8ГЧ10/8,8 был выставлен соответствующий коэффициент избытка воздуха с помощью регулятора состава смеси.

Экспериментально определены нагрузочные характеристики при 0%, 50%, 100%. Определена эффективность нейтрализации нейтрализатора при этих нагрузках.

По результатам проведенных испытаний можно утверждать, что эффективность нейтрализации трехкомпонентного нейтрализатора установленного в системе выпуска зависит от состава смеси. Исследования показали, что эффективность нейтрализатора выше при стехиометрическом составе смеси. Сделаны выводы, что к исследованию. Данный вид нейтрализатора можно использовать для улучшения экологичности газового двигателя

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, ИСКРОВОЕ ЗАЖИГАНИЕ, ВНЕШНЯЯ НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ, ОТРАБОТАВШИЕ ГАЗЫ.

#### АВТОРИ:

Лисовал Анатолий Анатолійович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри двигунів та теплотехніки, e-mail: li-dvz@bigmir.net, тел. +380988222541, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 303а.

Свистун Юрій Анатолійович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри двигунів та теплотехніки, e-mail: svystun\_yurec@ukr.net, тел. +380978699878, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 303а.

Нижник Максим Євгенович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри двигунів та теплотехніки, e-mail: Free-time@bigmir.net, тел. +380677614117, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 303а.

#### AUTHORS:

Lisoval Anatolii A., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Professor of the Department of engines and heat engineering, e-mail: li-dvz@bigmir.net, tel. +380988222541, Ukraine, 01010, Kyiv, 1 Suvorova St., of. 303a.

Svistun Yuriy Anatolievich, National Transport University, Postgraduate Student of the Department of engines and heating engineering, e-mail: svystun\_yurec@ukr.net, tel. +380978699878, Ukraine, 01010, Kyiv, 1 Suvorova St., of. 303a.

Nyzhnyk Maksym Ye., National Transport University, Postgraduate Student of the Department of engines and heating engineering, e-mail: Free-time@bigmir.net, tel. +380677614117, Ukraine, 01010, Kyiv, 1 Suvorova St., of. 303a.

#### АВТОРЫ:

Лисовал Анатолий Анатольевич, доктор технических наук, професор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры двигателей и теплотехники, e-mail: li-dvz@bigmir.net, тел. +380988222541, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 303а.

Свистун Юрий Анатольевич, Национальный транспортный университет, аспирант кафедры двигателей и теплотехники, svystun\_yurec@ukr.net, тел. +380978699878, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 303а.

Нижник Максим Евгеньевич, Национальный транспортный университет, аспирант кафедры двигателей и теплотехники, e-mail: Free-time@bigmir.net, тел. +380677614117, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 303а.

#### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гутаревич Юрій Фіодосійович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри двигунів і теплотехніки м. Київ, Україна.

Клименко Олексій Андрійович, кандидат технічних наук, заступник завідувача лабораторії дослідження палив та екології ДП «ДержавтотрансНДІпроект», м. Київ, Україна.

#### REVIEWERS:

Gutarevich Yu. F., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Head of of engines and heating engineering department, Kyiv, Ukraine.

Klymenko O.A., Ph.D., Deputy director of the Research laboratory of fuels and ecology SE "DerzhavtotransNDIproekt", Kyiv, Ukraine.