

Лісовал А.А., Свистун Ю.А.

КАТАЛІТИЧНА НЕЙТРАЛІЗАЦІЯ ВИХЛОПУ ГАЗОВОГО ДВИГУНА

В статті розглянуто процеси каталітичної очистки CO, C_mH_n і NO_x у відпрацьованих газах двигуна 8ГЧ10/8,8 з іскровим запалюванням, який працює на метані на привод електрогенератора (30 кВт при 1500 хв⁻¹). У випробуваннях використано експериментальний трикомпонентний каталітичний нейтралізатор. Результати досліджень засвідчили хорошу ефективність каталітичного нейтралізатора.

Ключові слова: двигун внутрішнього згорання, метан, нейтралізація, відпрацьовані гази.

Вступ. Екологізація двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) на сьогоднішній день є одним із перших завдань при розробці, удосконаленні та модернізації ДВЗ. В першу чергу, екологізація направлена на зменшення викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами (ВГ) в атмосферне повітря.

Цей напрям розвитку і удосконалення силових установок охопив всі галузі транспорту, де ДВЗ є джерелом енергії і споживачем традиційних нафтових палив. Найбільший доробок апробованих технічних заходів із знешкодження шкідливих викидів ВГ діє на автомобільних ДВЗ. Це результат поетапного (на протязі декількох десятиріч) введення в дію національних і міжнародних регламентів на правила замірів та норми викидів шкідливих речовин у ВГ. Такі міжнародні норми для автомобільних ДВЗ розробляє Європейська економічна комісія ООН. В Україні з 2014 року введені в дію лише норми Євро-4 [1]. Для енергетичних установок морського транспорту поетапно вводять в дію міжнародні норми ІМО TIER [2].

Набуває поширення транспортування зрідженого природного газу (метану) і, відповідно, використання цього палива в енергетичних установках газоходів. Використання метану в якості моторного палива вимагає застосування ДВЗ з іскровим запалюванням і відповідних особливостей в системах нейтралізації ВГ.

Попередні дослідження. На автомобільних ДВЗ з іскровим запалюванням (бензинових і газових) набув обов'язкового використання метод зовнішньої нейтралізації ВГ з використанням каталізаторів. Застосовуються каталізатори з благородних металів платини, паладію та родію у кількості, яка залежить від робочого об'єму двигуна [3]. Платина і паладій каталізують окислювальні реакції з нейтралізації CO і C_mH_n, а родій відновлює NO_x. Такі каталітичні нейтралізатори ВГ називають трикомпонентними, вони потребують стехіометричного складу горючої суміші, що забезпечує ефективність очистки ВГ на рівні 98 % [3].

При застосуванні трикомпонентних каталітичних нейтралізаторів у газових ДВЗ з іскровим запалюванням теж вважають за необхідне підтримувати стехіометричний склад суміші, хоча найкращі показники паливної економічності отримують на бідних сумішах.

Національним транспортним університетом спільно з Інститутом газу НАНУ розроблено електронно-механічну систему дозування газового палива, яку інтегровано в автоматичну систему регулювання частоти обертання колінчастого вала ДВЗ з іскровим запалюванням. Електронна система пройшла випробування і підтвердила можливість підтримання стабільного складу газової суміші у складі когенераційної установки незалежно від зміни зовнішнього навантаження [4]. Газовий двигун 8ГЧ10/8,8 працював на метані на привод електрогенератора (30 кВт). Система регулювання за ПІД-законом управління забезпечувала стабільну частоту обертання колінчастого вала 1500 хв⁻¹ на усталених режимах і під час перехідних процесів. Електронно-механічна автоматична система розроблена на основі вузлів фірми Heinzmann.

Мета і задачі досліджень. В Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ») розроблено експериментальний трикомпонентний каталітичний нейтралізатор (КН) для ДВЗ з іскровим запалюванням. Вид КН і встановлення його у випускній системі двигуна 8ГЧ10/8,8 показано на рис. 1.



а)



б)

*Рис.1. Фото трикомпонентного експериментального КН:
а) зовнішній вид; б) на газовому двигуні 8ГЧ10/8,8*

Кількість і хімічний склад каталізаторів в експериментальному КН в цій статті не розкривається.

Мета роботи – стендові випробування експериментального КН з визначенням: складу газоповітряної суміші; ступеня нейтралізації CO , C_mH_n і NO_x у ВГ газового двигуна; паливної економічності.

Результати випробувань КН направлені на подальше використання як в автомобільній галузі так і на суднових енергетичних установках, мобільних та стаціонарних енергетичних установках АПК і ЖКГ для зменшення забруднення атмосферного повітря токсичними компонентами.

Основна частина. На кафедрі «Двигуни і теплотехніка» Національного транспортного університету розроблено і виконано програму досліджень експериментального нейтралізатора конструкції НТУ «ХПІ»:

- проведено перевірку технічного стану газового двигуна 8ГЧ10/8,8, у випускній системі встановлено експериментальний КН;
- були визначені навантажувальні і токсичні характеристики газового ДВЗ при $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$ і стехіометричному та збідненому складах суміші;
- виконано аналіз результатів газового аналізу ВГ, визначена ефективність очистки ВГ і відповідно ефективність експериментального КН за формулою:

$$E_i = \frac{K_{i \text{ вх.}} - K_{i \text{ вих.}}}{K_{i \text{ вх.}}} 100 \%,$$

де $K_{i \text{ вх.}}$ – концентрація i -ї шкідливої речовини на вході в КН;

$K_{i \text{ вих.}}$ – концентрація i -ї шкідливої речовини на виході з КН.

Для проведення дослідження було вибрано газову електростанцію з приводним двигуном 8ГЧ10/8,8, особливості конструкції якої детально описано в праці [4].

Експериментальний КН був розрахований на об'єм ВГ від ДВЗ з робочим об'ємом 1,6 л. Перед встановлення КН на V-подібний ДВЗ було розраховано можливу кількість ВГ однієї із сторін випускного колектора – групи циліндрів. Двигун 8ГЧ10/8,8 має робочий об'єм 5,526 л, відповідно кожна з груп циліндрів (1-2-3-4 або 5-6-7-8) продукує 2,763 л відпрацьованих газів за номінального режиму (3600 хв^{-1}). Частота обертання колінчастого

вала в дослідженнях складала 1500 хв^{-1} , тому розрахунковий об'єм ВГ складає 1,13 л. Встановлення КН на одну із сторін двигуна дозволяє збіднити суміш до $\alpha = 1,5 - 1,58$ л.

Конструктивно один з відводів від випускного колектора було замінено та встановлено КН (рис. 1,б).

Газовий аналіз під час визначення навантажувальних характеристик виконанали на японському комплексі МЕХА, попередньо газові проби ВГ відібрали в спеціальні термопакети. Концентрації CO , C_mH_n визначали за методом інфрачервоного поглинання світлової хвилі кожним компонентом неповного згорання. Прилад для визначення концентрації вуглеводнів (C_mH_n) був відтарований на гексан.

Концентрації NO_x визначали методом хімілюмінесцентного свічення часток NO_x в озоні.

Результати газового аналізу для стехіометричного складу суміші ($\alpha = 1$) і збідненої суміші при $\alpha = 1,3$ наведено в табл.1 і 2 відповідно.

В табл. 1 і 2 наведені значення концентрацій для трьох точок навантажувальної характеристики:

Таблиця 1

Результати газового аналізу при $\alpha = 1$

Шкідливі компоненти	Концентрації при навантаженні:					
	холостий хід		15 кВт		30 кВт	
	Після ДВЗ	Після КН	Після ДВЗ	Після КН	Після ДВЗ	Після КН
CO , млн^{-1}	2800	1600	11100	10500	22100	20800
%	0,28	0,16	1,11	1,05	2,21	2,08
C_mH_n , млн^{-1}	3518,8	2455,9	1794,2	1423,9	2537,4	1406,1
%	0,35	0,25	0,18	0,14	0,25	0,14
NO_x , млн^{-1}	87	35	790	52	800	38

Таблиця 2

Результати газового аналізу при $\alpha = 1,3$

Шкідливі компоненти	Концентрації при навантаженні:					
	холостий хід		15 кВт		30 кВт	
	Після ДВЗ	Після КН	Після ДВЗ	Після КН	Після ДВЗ	Після КН
CO , млн^{-1}	878	70	416	60	367	80
%	0,08	0,007	0,04	0,006	0,037	0,008
C_mH_n , млн^{-1}	3534	2448	913	732	875	367
%	0,35	0,24	0,09	0,07	0,087	0,036
NO_x , млн^{-1}	46	27	558	499	979	852

Холостий хід; 50 % зовнішнього навантаження (15 кВт); 100 % зовнішнього навантаження (30 кВт).

Концентрації CO , C_mH_n у ВГ більші при стехіометричній суміші за всіх режимів навантаження. Викиди NO_x трохи зростають при $\alpha = 1,3$ за номінального режиму. Однак, експериментальний нейтралізатор для цього складу суміші працює краще на окислювальні реакції, ніж на відновлювальні.

Концентрації вуглеводнів C_mH_n для обох випадків ($\alpha = 1$ і $\alpha = 1,3$) в режимі холостого ходу практично однакові. Це свідчить про погане згорання метану в цьому режимі із-за поганого сумішоутворення.

Значення розрахункової ефективності експериментального КН наведено в табл.3 і 4 відповідно для стехіометричної суміші і збідненої ($\alpha = 1,3$).

Таблиця 3

Ефективність каталітичного нейтралізатора при $\alpha = 1$

Шкідливі компоненти	Значення ефективності при навантаженні:		
	холостий хід	15 кВт	30 кВт
E_{CO} , %	43	6	6
$E_{C_mH_n}$, %	30	21	45
E_{NO_x} , %	60	93	95

Таблиця 4

Ефективність каталітичного нейтралізатора при $\alpha = 1,3$

Шкідливі компоненти	Значення ефективності при навантаженні:		
	холостий хід	15 кВт	30 кВт
E_{CO} , %	92	86	78
$E_{C_mH_n}$, %	30	20	25
E_{NO_x} , %	41	11	13

Аналіз значень в табл. 3 і 4 засвідчив, що за стехіометричного складу суміші експериментальний КН найбільше відновлює NO_x в межах 60...95 %, але значення концентрацій продуктів неповного згорання після КН не перевищують 2,0 % для CO і 0,25 % для C_mH_n .

Збіднення суміші не вплинуло на ефективність нейтралізації C_mH_n , ефективність очистки CO знаходиться в межах 78...92 %. Однак надлишок кисню у ВГ зменшив ефективність відновлювальної реакції для NO_x до меж 10...13 %.

На користь роботи на збіднених газових сумішах свідчить показник паливної економічності – для номінального режиму він становив 277 г/кВт·год, проте 313 г/кВт·год при стехіометричному складі суміші.

Висновки. Результати випробувань експериментального трикомпонентного КН засвідчили його працездатність і хорошу ефективність нейтралізації ВГ газового двигуна за різних складів суміші і навантажень. За стехіометричного складу суміші ефективність нейтралізації NO_x складає 93...95 %.

Концентрації продуктів неповного згорання CO і C_mH_n незначні у газового двигуна навіть при відсутності КН.

Потребують досліджень питання раціонального узгодження каталітичної нейтралізації і паливної економічності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Редзюк А.М. Уведення екологічних 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. Перспективные технологии снижения выбросов NO_x судовых дизелей (материалы конгресса СИМАС) // Двигателестроение. – 2014. – №2. – С. 38-47.
3. Системы управления бензиновыми двигателями. Перевод с нем. Первое рус. изд. – М.: ООО Книжное изд. «За рулем», 2005. – 432 с.
4. Лісовал А.А. Когенераційна установка з газовим двигуном / А.А. Лісовал, М.Є. Нижник, О.В. Вербовський // Водний транспорт. Збірник наукових праць. Київської держ. академії водного транс-ту ім. Петра Конашевича-Сагайдачного. К.: КДАВТ, 2013. – № 3 (18). – С. 51-55.

Лисовал А.А., Свистун Ю.А.

КАТАЛИТИЧЕСКАЯ НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ ВЫХЛОПА ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

В статье рассмотрены процессы каталитической очистки CO, CmHn и NOx в отработавших газах двигателя 8ГЧ10/8,8, который работает на метане на привод электрогенератора (30 кВт при 1500 мин⁻¹). В испытаниях использован экспериментальный трехкомпонентный каталитический нейтрализатор. Результаты исследований показали хорошую эффективность каталитического нейтрализатора.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, метан, нейтрализация, отработавшие газы.

Lisoval A., Svistun Y.

CATALYST FOR EXHAUST GASES OF THE GAS ENGINE

The article describes the processes of catalytic purification CO, CmHn and NOx in the exhaust gas of the engine with eight cylinders, cylinder bore of 100 mm and 88 mm piston stroke, which runs on methane in the electric generator drive (30 kW at 1500 min⁻¹). The test used an experimental three-way catalytic neutralizer. The results showed good efficiency of the catalytic neutralizer.

Key words: internal combustion engine, methane, catalyst, exhaust gases.

УДК 01;03.620

Мухеев А.И.

К ВОПРОСУ О ПОРОГЕ ХЛАДНОЛОМКОСТИ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОРПУСНЫХ СТАЛЕЙ

Проведенный анализ химического и структурного состава, физико-механических свойств, прежде всего модуля жесткости (E) и ударной вязкости (КСУ) на примере судостроительных корпусных сталей позволил сформулировать гипотетический вывод о природе хрупких разрушений сталей ферритно-перлитного класса при воздействии низких температур.

Ключевые слова: внутренние напряжения, плотность дислокаций, модуль жесткости, хладноломкость, объемно-центрированная и гранецентрированная кристаллическая решетка.

В целом вопрос о хладноломкости сталей возник по историческим меркам не так давно – в конце XIX века, то есть тогда, когда человечество научилось производить сталь в промышленных объемах. А широкое ее использование в различных технических областях государственного хозяйства в зимнее время, в районах Крайнего Севера, за Полярным кругом, а также в связи с освоением арктических и антарктических территорий привело к острой актуализации этого вопроса.

Оказалось, что при низких температурах в сталях действуют иные закономерности изменения их физико-механических свойств, чем при комнатных и повышенных температурах. Незнание этих закономерностей в практических реалиях технического обслуживания жизни общества привело к серьезным негативным последствиям. Даже в наше время снижение надежности и работоспособности оборудования, строительной техники и транспорта в сибирских и арктических зимних условиях просто обескураживает. При эксплуатации автомобильной техники в арктических климатических зонах из строя в