

УДК 621.43.068

Мержиєвська В.В., магістр
НТУ, м. Київ,

ФУНКЦІОНАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КАТАЛІТИЧНИХ НЕЙТРАЛІЗАТОРІВ ВИКИДІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

У статті розглянуто різні типи нейтралізаторів, принципи їхньої роботи та основні функціональні властивості з огляду ефективності нейтралізації викидів транспортних засобів.

Вступ

Колісні транспортні засоби (далі – КТЗ), обладнані, переважно, двигунами внутрішнього згорання, є найбільшим джерелом забруднення довкілля. На тлі сучасних змін клімату та різних екологічних негараздів, необхідність зниження токсичності їхніх викидів очевидна.

На сьогодні двигуни внутрішнього згорання досягли такого технічного рівня, що надалі зменшувати обсяги забруднювальних речовин на стадії їх утворення майже неможливо, тому, щоб, зрештою, зменшити техногенне навантаження на довкілля, необхідно, принаймні, забезпечити скорочення викидів в атмосферу.

Здійснювати це можливо у два способи: конструктивними методами та очищенням газів [1].

Конструктивні методи покращення екологічних показників полягають у запобіганні утворенню шкідливих продуктів згорання палива під час проектування і розробки двигунів.

Очищення циліндрових газів спрямоване на зменшення концентрацій уже утворених шкідливих речовин подальшою їх обробкою. Очищення газів можливе рідиною нейтралізацією, термічним допалюванням, але сучаснішим і ефективнішим методом є каталітична нейтралізація циліндрових газів.

Аналіз публікацій та постановка завдання

Дослідженням ефективності нейтралізації основних складників викидів КТЗ за допомогою каталітичних нейтралізаторів викидів присвячують свої роботи, зокрема, такі автори як G. Pontikakis¹, A. Stamatelos¹ [2], M. Balenović² [3], Луканін В.М.³, Кульчицький О.Р.⁴ [5], ґрунтовні дослідження здійснюють у таких організаціях, як SAE⁵, різних національних організаціях з охорони довкілля (SAEFL (BUWAL)⁶, EPA⁷) тощо. Основними методами досліджень є статистична обробка даних і математичне моделювання.

Дослідження впливу застосування каталітичних нейтралізаторів на показники функціонування КТЗ можливе двома способами:

– «зсередини» – досліджуючи фізичні та хімічні явища безпосередньо у каталітичному нейтралізаторі;

– «ззовні» – визначаючи тягово-швидкісні, паливно-економічні та екологічні показники КТЗ в умовах руху за їздовими циклами та аналізуючи їх.

¹ Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Thessaly, Volos, Greece

² Technische Universiteit Eindhoven, Netherlands

³ Кафедра «Теплотехника и автотракторные двигатели» Московского автомобильно-дорожного института (Государственного технического университета), Россия

⁴ Кафедра «Двигатели внутреннего сгорания» Владимирского государственного университета, Россия

⁵ Society of Automotive Engineers

⁶ Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), Swiss

⁷ U.S. Environmental Protection Agency

Методи дослідження, що ґрунтуються на моделюванні перебігу фізичних і хімічних реакцій у каталітичному нейтралізаторі, потребують суттєвої доробки для дослідження різних типів нейтралізаторів. У той час, як аналізування експлуатаційних властивостей КТЗ, обладнаного нейтралізатором, є більш універсальним і придатним для оцінювання ефективності застосування каталітичних нейтралізаторів будь-якого типу на будь-якому КТЗ.

Мета дослідження

Серед різних додаткових пристроїв очищення викидних газів КТЗ найбільш ефективними визнано каталітичні нейтралізатори, проте вони також різняться за своїми властивостями. Метою роботи є аналізування типів, будови і основних функціональних властивостей каталітичних нейтралізаторів з огляду ефективності нейтралізації викидів КТЗ.

Типи нейтралізаторів

Каталітичні нейтралізатори бувають окисні, відновні та трикомпонентні.

1. Першими були створені *окисні* каталітичні нейтралізатори. Зазвичай вони бувають платинові Pt або палладієві Pd.

Окисні каталітичні нейтралізатори забезпечують допалювання або доокиснення вуглеводнів *HCs* і оксиду вуглецю (II) *CO* з утворенням води (H_2O) і оксиду вуглецю (IV) (CO_2). Часткове окиснення вуглеводнів *HCs* зумовлює утворення спиртів, альдегідів, кетонів, органічних кислот тощо. Окисні нейтралізатори дозволяють зменшити вміст *CO* та *HCs* на 30...95% [5].

2. *Відновні* нейтралізатори – переважно родієві *Rh* – призначені для зменшення концентрації оксидів азоту *NOx*, які відновлюються з утворенням молекулярного азоту (N_2) і оксиду вуглецю (IV) (CO_2).

Застосовують їх разом із окисними нейтралізаторами для комплексного очищення викидів. Тобто маємо окисно-відновні нейтралізатори, де першим встановлено нейтралізатор відновлення, а другим – нейтралізатор окиснення.

3. І, нарешті, *трикомпонентні* (або селективні) каталітичні нейтралізатори – забезпечують скорочення вмісту трьох основних компонентів викидів: *CO*, *HCs* і *NOx* завдяки одночасному перебігу окисно-відновних реакцій.

Будова

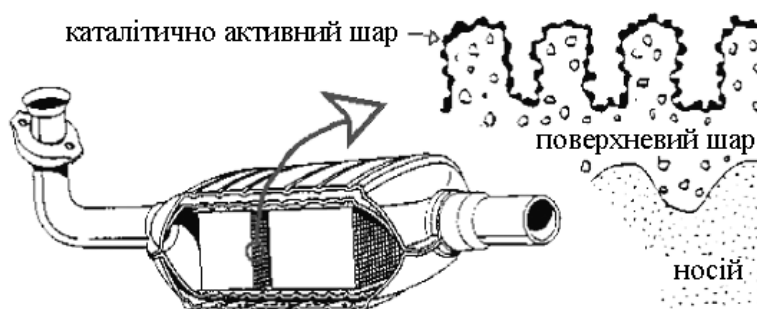


Рис. 1. Будова каталітичного нейтралізатора

Сучасний трикомпонентний каталітичний нейтралізатор складається з монолітного керамічного або металевого носія із напиленим каталітично активним шаром. На поверхневий шар, як правило, оксид алюмінію Al_2O_3 , наносять каталітично активний шар з благородних металів. Співвідношення вмісту благородних металів приблизно 40...60 % платини *Pt*, 30...40 % паладію *Pd*, 10...20 % родію *Rh* [3].

Принцип роботи

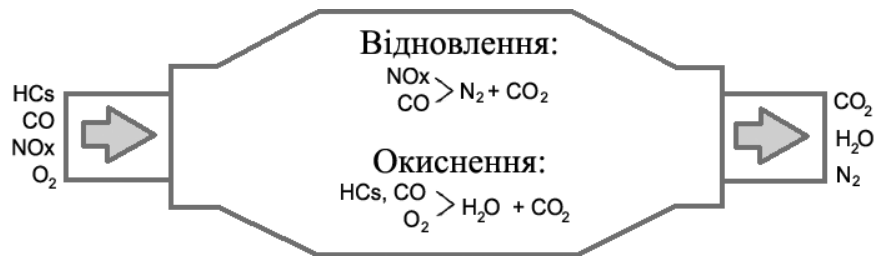


Рис. 2. Схема основних реакцій в нейтралізаторі

Принцип роботи нейтралізатора полягає в тому, що циліндрові гази, проходячи каналами нейтралізатора, контактують з каталітично активним шаром, який ініціює каталітичні процеси [4].

Функціональні властивості

Ефективність роботи нейтралізатора визначається за такими його функціональними властивостями, як селективність, активність та стартові властивості [5].

1. *Селективність* – це спрямованість дії нейтралізатора на певні складники викидів КТЗ.

2. *Активність* – це міра впливу нейтралізатора на складники викидів, яку оцінюють за відношенням різниці концентрацій певного складника циліндрових газів до нейтралізатора і після нього, до початкової його концентрації, визначається у відсотках:

$$\eta = \frac{K_{\text{дв}} - K_{\text{нейтр}}}{K_{\text{дв}}} \cdot 100\% .$$

Але активність нейтралізації різних складників викидів різна. Зокре-

ма, активність нейтралізації оксиду вуглецю CO вища, ніж вуглеводнів HCс, і це необхідно враховувати у разі застосування альтернативних палив. Також на активність нейтралізатора суттєво впливають його конструктивні параметри та температурний режим.

а) *Конструктивні параметри*. Визначальними конструктивними параметрами є форма каналів, конфігурація і матеріал носія.

Корпус нейтралізатора виготовляють із неіржавіючої сталі.

Носій нейтралізатора безпосередньо не реагує із циліндровими газами, але його конструкція суттєво впливає на ефективність нейтралізації (від конфігурації носія залежить площа внутрішньої поверхні нейтралізатора, час проходження та опір потоку циліндрових газів тощо).

Носій буває зі стільниковими (чарунковими) каналами, гранульований, або виготовлений з жаротривкої металевої чи ткані стрічки. Монолітні носії (стільникові або чарункові) створюють набагато нижчий протитиск, ніж гранульовані (які набули поширення в промисловості), що є важливим для уникнення втрат потужності двигуна.

Поверхневий шар, зазвичай, з поруватого матеріалу з розвиненою поверхнею, вкритий каталітично активним шаром дрібнодисперсних частинок благородних металів (рис. 1).

Навантаження на нейтралізатор оцінюють за відношенням об'ємної витрати циліндрових газів до площі внутрішньої поверхні нейтралізатора. Чим вище навантаження на нейтралізатор, тим менша його ефективність [5].

б) *Температурний режим*. Реакції нейтралізації викидів КТЗ потребують певної температури. Низькотемпературні (наприклад, марганцево-мідні (Mn-Cu)) нейтралізатори починають функціонувати вже за температури 100...150°C. Високотемпературні досягають прийнятної активності за температур 250...300°C, а робочі температури 400...800°C забезпечують оптимальні умови для нейтралізації викидів і забезпечують прийнятну довговічність нейтралізатора [5].

3. *Стартові властивості* (light-off) оцінюють за часом досягнення 50 % активності з моменту холодного запуску двигуна.

Окрім розглянутих функціональних показників необхідно також оцінювати ресурс нейтралізаторів. Згідно з Правилами ЄЕК ООН № 103, нейтралізатори легковиків повинні мати ресурс 80 000 км, а вантажівок – 160 000 км.

Система управління

Застосування каталітичних нейтралізаторів на КТЗ з двигунами із примусовим запалюванням, потребує встановлення системи електронного управління складом суміші. Це зумовлено необхідністю підтримання співвідношення повітря/паливо (air/fuel ratio) близько стехіометричного $\lambda = 1 \pm 0,05$, для найбільшої ефективності нейтралізації викидів. Тому що, за умов відхилення складу суміші від стехіометричного значення, суттєво знижується ефективність нейтралізації за одним із складників викидів: так, якщо $\lambda < 1$, то за продуктами неповного згорання CO та HCс, а якщо $\lambda > 1$, то за оксидами азоту NOx.

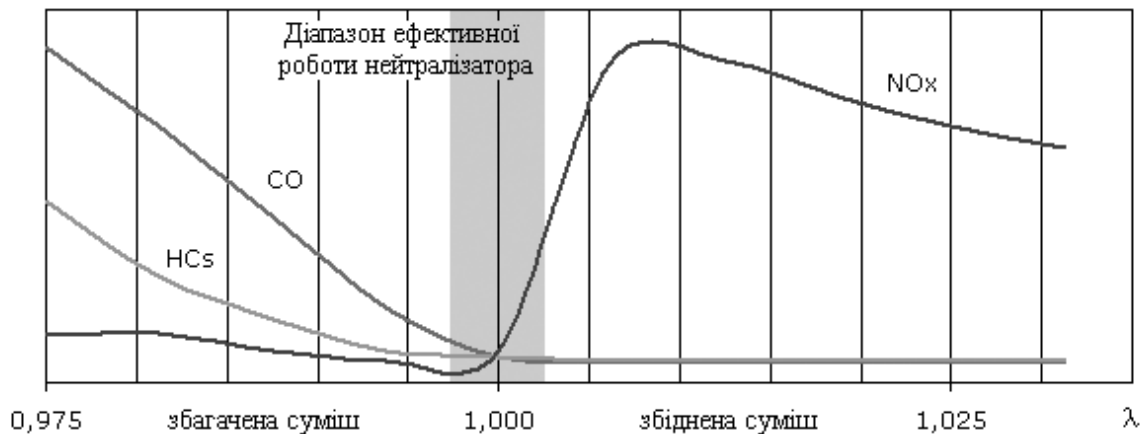


Рис. 3. Ефективність роботи нейтралізатора за даними Nogiba (Японія) [1]

Система управління каталітичним нейтралізатором із зворотнім зв'язком дозволяє значно підвищити ефективність функціонування нейтралізатора. Сигнал зворотного зв'язку для управляючого пристрою формують датчики - один або два λ -зонди.

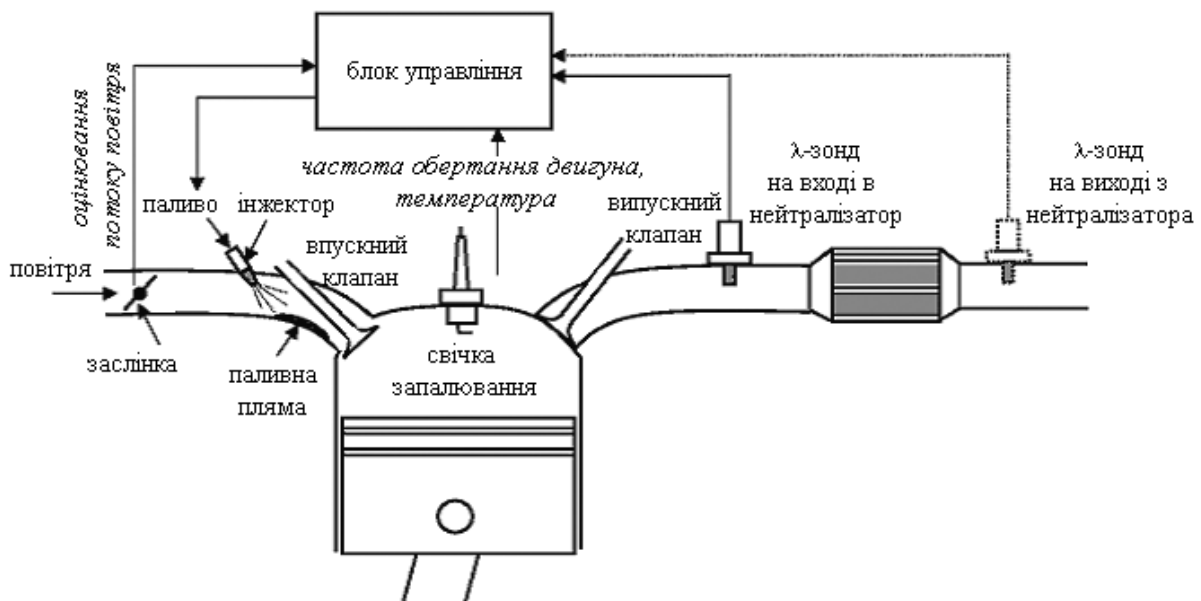


Рис. 4. Система управління каталітичним нейтралізатором

Кисневий датчик або λ -зонд призначений для визначення співвідношення вмісту кисню у циліндрових газах і у паливоповітряній суміші λ . Один кисневий датчик розташований перед нейтралізатором і формує сигнал управління складом суміші. Другий аналогічний кисневий датчик встановлюють у трубопроводі після нейтралізатора, що суттєво уточнює формування стехіометричного складу суміші.

Найбільше значення активності нейтралізатора, за наявності λ -зонда, сягає 85...95 %, а без нього – не більше 50...65 %.

Функціонування кисневого датчика ґрунтується на принципі гальванічного елемента з керамічним матеріалом – оксидом цирконію ZrO_2 та оксидом ітрію ItO , який є твердим електролітом. Напряга електричного струму створюється між електродами з платини Pt та металокераміки.

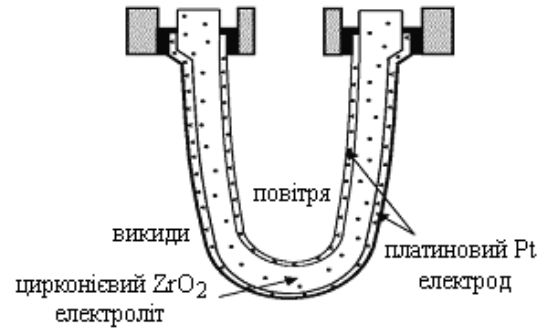


Рис. 5. λ -зонд

Підвищення ефективності нейтралізації

Для підвищення ефективності нейтралізації складників викидів застосовують додаткові пристрої.

– Система підігріву нейтралізатора до робочої температури призначена для покращення стартових властивостей нейтралізатора. Протягом перших 40...60 с викидається значна кількість продуктів неповного згорання, а система підігріву дозволяє зменшити питомий вміст оксиду вуглецю CO і вуглеводнів HCs у викидах у 3,0...3,5 разів. Підігрів буває електричний (ЕНС), хімічний (без відкритого полум'я, наприклад, із окисленням метанолу), електрохімічний (ЕІНС) та прискорене окислення (РЕРО) (яке забезпечують спалюванням у випускному колекторі незначної дози збагаченої суміші).

– Для покращення ефективності роботи нейтралізатора до складу каталітично активного шару включають *кисневмісний компонент* (оксид церію CeO_2 або цирконію ZrO_2).

Коли суміш збіднена, тобто $\lambda > 1$ – вміст кисню у викидах значний, згорання відбувається більш повно, а тому концентрації оксиду вуглецю CO і вуглеводнів HCs невисокі. Наявний у нейтралізаторі кисневмісний компонент накопичує надлишковий кисень.

Коли суміш збагачена, тобто $\lambda < 1$ – вміст кисню у викидах невеликий і вміст продуктів неповного згорання значний. Тоді кисневмісний компонент вивільняє накопичений кисень, що покращує нейтралізацію CO і HCs .

Здатність накопичення кисню в нейтралізаторі запобігає втратам ефективності нейтралізації циліндрових газів за часткового збагачення або збіднення суміші.

– *Адсорбери* – пристрої, що поглинають (адсорбують) компоненти викидів на певний час, а за певних умов вивільняють їх для подальшої нейтралізації. Встановлюють перед основним нейтралізатором. Найпоширеніші адсорбери виготовлені з цеолітів-алюмосилікатів (Al_2O_3) із вмістом благородних металів (Pt).

Адсорбери поглинають вуглеводні HCs в початковий період роботи і вивільняють, коли температура в нейтралізаторі досягає робочих значень. Адсорбери зменшують викиди CO та HCs протягом перших 70 с роботи двигуна на 50...70%.

Двигуни, особливо із впорскуванням палива, переважно більшість режимів функціонують на дещо збіднених сумішах, а тому ефективність нейтралізації оксидів азоту NOx знижується (див. рис. 3). Адсорбери ж дозволяють відновлювати до 85 % NOx за температур біля $450^\circ C$, але за відхилення від цієї температури на $100^\circ C$ у будь-який бік, ефективність нейтралізації NOx знижується на 10...15 %.

– Систему додаткового впуску повітря, як правило, застосовують у здвоєних нейтралізаторах. Додатковий впуск повітря здійснюють одразу на виході з випускних каналів головки циліндрів двигуна і вдруге – перед адсорбером, що забезпечує покращення нейтралізації оксидів азоту NO_x . Недоліками додаткового впуску повітря є ускладнення конструкції і потреба у високій витраті палива ($\lambda = 0,9$), тому доцільно застосовувати його, наприклад, у мотоциклах.

Висновки

Отже, на сьогодні найбільш ефективною системою очищення викидів двигунів є складна система нейтралізації, яка складається з первинного (Light-off Catalyst) й основного (Main Converter) нейтралізаторів, адсорбера, допалювача (Burn-off Catalyst), обладнана λ -зондами і системою додаткового впуску повітря. До того ж система нейтралізації може бути об'єднана із системою рециркуляції циліндрових газів (EGR).

Враховуючи, що нейтралізатори, фактично, виконують роль фільтру твердих частинок (PM), то сучасні нейтралізатори є чотирикомпонентними системами, які очищують викиди від оксидів вуглецю CO, вуглеводнів HC, сполук азоту NO_x та твердих частинок.

Останнім часом в Україні дедалі частіше застосовують каталітичні нейтралізатори, але їх вплив на роботу ДВЗ загалом неоднозначний. З одного боку, нейтралізатори зменшують викиди основних забруднювальних речовин, але з другого – вони створюють додатковий опір у випускній системі двигуна, а тому погіршують паливну економічність.

Отже, оцінити вплив застосування нейтралізатора на показники роботи КТЗ і двигуна, не лише екологічні, а й з огляду паливної економічності та тягово-швидкісних характеристик КТЗ – є дуже важливим. Таке оцінювання можливо здійснити за допомогою експериментальних досліджень руху КТЗ за їздовими циклами, або більш ощадливого математичного моделювання роботи КТЗ, обладнаного каталітичним нейтралізатором.

Подальший розвиток

Наступним етапом роботи є уточнення, розширення і впорядкування математичної моделі для визначення тягово-швидкісних, паливно-економічних та екологічних показників роботи КТЗ, з двигуном із примусовим запалюванням, під час руху за Європейським міським їздовим циклом з огляду застосування каталітичного нейтралізатора.

Список літератури

1. Автомобильный справочник Bosch: пер. с англ., М.: За рулем, 2000. — 896 с.
2. G. Pontikakis, A. Stamatelos. Mathematical modelling of catalytic exhaust systems for EURO-3 and EURO-4 emissions standards. — Proc. Instn. Mech. Engrs. — Part D. — 2001. — Vol. 215. — Pp. 1005 – 1015.
3. Mario Balenović. Modeling and Model-Based Control of a Three-Way Catalytic Converter. — Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven. — 2002. — Proefschrift.
4. Мержиевська В. Аналіз особливостей робочих процесів каталітичних нейтралізаторів та основних принципів їх моделювання // Автомобильный транспорт. Сборник научных трудов. — Харьков, ХНАДУ. — Вып. 16. — 2005. — с. 316 – 318.
5. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей (Exhaust emission of automotive and tractor engines) // Учебное пособие (изд. 2, исправленное и дополненное). — Москва: ООО "Академический проект", 2004. — 400 с.

Стаття надійшла до редакції 23.11.06

© Мержиевська В.В., 2006