

УДК 621.43  
UDC 621.43

### СУЧАСНІ МЕТОДИ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ

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

### MODERN METHODS OF INCREASING ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH SPARK IGNITION

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

### СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЗАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ

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

Актуальність проблематики. Проблема захисту атмосферного повітря від токсичних викидів у країнах з високим потоком автомобільного транспорту набула важливого та широкого значення. Проблема екологізації і безпосередньо двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) потребує невідкладного рішення. Автомобільний транспорт – це основне джерело забруднення атмосфери у великих містах. Відпрацьовані гази (ВГ), які потрапляють в довкілля, мають понад 200 різних речовин в газоподібному, рідкому і твердому стані. Деякі з цих речовин та їх сполук не тільки токсичні, але і канцерогенні [1].

Періодично Євросоюз (ЄС) покроково за згодою ООН впроваджує все більш жорсткі та вимогливі норми щодо масових викидів автомобільним транспортом шкідливих речовин у ВГ. Країни ЄС починають впроваджувати норми Євро-6, в Україні діють Євро-4. За цими нормами на ДВЗ з іскровим запалюванням є обов'язковим встановленням каталітичного нейтралізатора з електронним управлінням [2].

У статті представлено аналіз зовнішніх та внутрішньо циліндрових методів каталітичної нейтралізації з метою прискореного впровадження норм Євро-5 і далі Євро-6 на автомобілях, які виробляються і експлуатуються в Україні без погіршення паливної економічності.

Об'єктом теоретичних досліджень є аналіз різних методів нейтралізації та їх вплив на концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах поршневих двигунів внутрішнього згорання з іскровим запалюванням

Предметом дослідження є концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах та паливна економічність поршневих двигунів внутрішнього згорання з іскровим запалюванням при різних методах каталітичної нейтралізації (КН).

Класифікація методів каталітичної нейтралізації для автомобільних двигунів.

Каталітичну нейтралізацію ВГ за методами класифікували на підгрупи зовнішньої, внутрішньо циліндрової нейтралізації та комбіновані методи. Останній метод є одночасним поєднанням зовнішньої та внутрішньо циліндрової нейтралізації ВГ [3]. Наприклад, рециркуляція ВГ і трикомпонентний нейтралізатор.

В статті основну увагу приділено підгрупам зовнішньої та внутрішньо циліндрової нейтралізації ВГ. Аналіз зовнішньої каталітичної нейтралізації ВГ виконано за напрямками: прискорення окислювальних реакцій, прискорення відновлювальних реакцій, застосування трикомпонентних нейтралізаторів ВГ. Аналіз внутрішньо циліндрової каталітичної нейтралізації ВГ виконано за напрямками: добавки до палив, присадки до палив, сумішеві палива, додавання газових сумішей з повітрям, рециркуляція ВГ, використання каталізаторів на поверхні камери згорання (КЗ).

Трикомпонентні каталітичні нейтралізатори.

Одночасні окислювальні і відновлювальні реакції забезпечуються при роботі бензинового ДВЗ на стехіометричній гомогенній горючій суміші ( $\alpha = 1$ ). За цим принципом працюють трикомпонентні каталітичні нейтралізатори, де сумішоутворення автоматично регулюється за замкнутим контуром з лямбда-зондами [4].

Для ефективної роботи трикомпонентного каталітичного нейтралізатора необхідно створити



умови, щоб всі три шкідливі компоненти ( $C_mH_n$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ ) знаходились у ВГ в стані хімічної рівноваги. Такі умови створюють підтриманням стехіометричної суміші. Зона регулювання на рис.1 пролягає ліворуч від  $\alpha = 1$ .

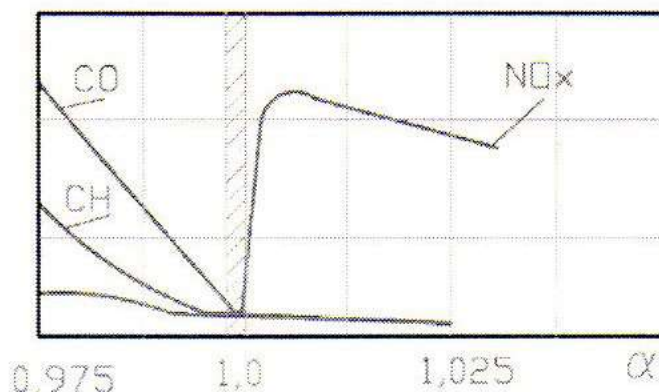


Рисунок 1 – Токсичні характеристики бензинового ДВЗ з нейтралізатором.

Місце встановлення трикомпонентного каталітичного нейтралізатора визначається умовою підтримання температури вище  $300^{\circ}C$  для забезпечення каталітичних реакцій. Верхня межа температур для каталізаторів становить  $800...1000^{\circ}C$ , при перегріві до  $1400^{\circ}C$  відбувається руйнування (плавлення) основи-носія, спікання абсорбційного прошарку.

Застосовують два види основи-носія: керамічні та металеві моноліти. В наш час найбільше поширені керамічні моноліти. На основу-носії наносять абсорбційний прошарок, зазвичай це корундове покриття ( $Al_2O_3$ ), яке збільшує ефективну поверхню (поверхню контакту) каталітичного нейтралізатора. За даними праці [4] ефективна поверхня збільшується в 7000 раз.

Зовні на корундове покриття зазвичай наносять каталізatori – платину і палладій для окислювальних реакцій та родій для відновлювальних реакцій. Кількість каталізаторів з благородних металів становить  $1...3$  г і залежить від робочого об'єму ДВЗ з іскровим запалюванням.

Встановлено наступні недоліки зовнішньої каталітичної нейтралізації ВГ у ДВЗ з примусовим запалюванням: погіршення наповнення циліндрів при збільшенні гідравлічного опору випускної системи, складність системи автоматичного управління, складність обслуговування, обмежений ресурс нейтралізаторів, висока вартість із-за використання благородних металів, підвищені вимоги до палива – неетильований бензин, відсутність в бензині металів і мінімальна кількість сірки.

Хоч і зовнішня каталітична трикомпонентна нейтралізація має недоліки, але все ж вона являється більш ефективним і поширеним методом на сьогодні. Використання напильня на корундове покриття, допомагає зменшити кількість благородних металів та збільшити ефективну робочу поверхню. Ефективність окислювальних та відновлювальних реакцій залежить від температури, складу суміші, розташування трикомпонентного каталітичного нейтралізатора. Роботи по удосконаленню даного методу тривають.

Додавання до бензинів спиртів – метилу ( $CH_3OH$ ) або етанолу ( $C_2H_5OH$ ).

Застосування спиртів як моторних палив та їх добавок пов'язана з можливістю їх виробництва в Україні з відновлювальних ресурсів.

Вища теплота випаровування у спиртів сприяє зниженню температури горючої суміші і відповідно покращує наповнення циліндрів. Потужність ДВЗ з іскровим запалюванням, що живиться метанолом, на  $10...15\%$  вища, ніж у бензинового ДВЗ [4]. З іншої сторони, це може призвести до прогорання клапанів (перемички між клапанами) із-за зменшення тепловідведення в циліндрах ДВЗ.

Використання  $C_2H_5OH$  як моторного палива сприяє зменшенню викидів з ВГ сполук свинцю, сірки, сажі, високомолекулярних вуглеводневих сполук. Однак, як і при живленні метанолом зростають викиди альдегідів.

Спирти – метилу ( $CH_3OH$ ) або етанолу ( $C_2H_5OH$ ) застосовують більше як добавки. В останні роки більш популярним стає паливо E85, що містить  $75 - 85\%$  біоетанолу та  $25 - 15\%$  бензину. Це обумовлено державною підтримкою біопаливних технологій у багатьох країнах, внаслідок чого E85 в середньому на  $15 - 20\%$  дешевше стандартного бензину. Паливо E85 набагато екологічніше бензину, має високу детонаційну стійкість і володіє пайсильнішим «компресорним» ефектом. Паливо E85



більш стабільно у порівнянні з «газохол» [5].

Однак застосування палива E85 вимагає серйозної переробки двигуна.

Додавання води.

Воду подають у циліндри ДВЗ розпилюванням у потоці повітря у впускному трубопроводі або у виді водопаливних емульсій. Дія від додавання води як каталізатора подвійна і взаємно протилежна. З однієї сторони випаровування води в циліндрі призводить до уповільнення реакцій згорання (окислення), з другої – водяна пара сприяє утворенням в циліндрі  $CO$  і  $H_2$  з подальшим їх окисленням і виділенням енергії.

Результати дослідження впливу додавання води до бензину на концентрації шкідливих речовин у ВГ мають суперечливий характер стосовно викидів  $C_mH_n$  [6].

У більшості досліджень на ДВЗ з іскровим запалюванням було відмічено збільшення викидів  $C_mH_n$  при додаванні води. В інших дослідженнях підвищення викидів  $C_mH_n$  не встановлено. Протиріччя в результатах досліджень щодо концентрації  $C_mH_n$  у ВГ можливо пояснити відмінностями в конструкціях камер згорання. Всі дослідники впливу додавання води до бензинів на викиди  $NO_x$  і  $CO$  констатують зниження концентрацій цих компонентів у ВГ.

Вміст води у водо бензинових емульсіях не перевищує 15 %. Стабільність емульсії зберігається при вмісті до 40 % води [6].

Відмітимо негативний фактор від додавання води до бензинів впорскуванням у впускний трубопровід – підвищення зношування гільз циліндрів.

Наявність позитивних і негативних ефектів при додаванні води до бензинів вимагає подальших комплексних досліджень, з включенням до програми досліджень експлуатаційних випробувань водобензинових емульсій.

Додавання водню.

Швидкість згорання водневоповітряної суміші висока при досить широких межах запалювання  $\alpha = 1,15 \dots 10$ . За відповідних регулювань ці властивості водневоповітряної суміші дозволяють створити стабільну роботу бензинового ДВЗ на сильно збіднених сумішах. Доцільним вважається додавання водню в межах до 20 % за масою. Додавання водню до горючої суміші бензинового ДВЗ зменшує викиди основних шкідливих компонентів ВГ у декілька разів [7].

Використання водню на автомобільному транспорті передбачається на електромобілях, де водень в паливних комірках при проходженні через протонну мембрану з платиновим каталізатором виробляє електричну енергію.

За літературними джерелами не знайдено порівняльних досліджень і економічного обґрунтування доцільності використання водню в паливних комірках чи безпосередньо при згоранні в циліндрах ДВЗ, лише робиться наголос на «чистий» вихлоп електромобілів на паливних комірках. Зазначимо, що воднева енергетика може бути віднесена до категорій «зелених» лише за умови виробництва водню з відновлювальних джерел або з вторинних ресурсів.

Додавання закису азоту ( $N_2O$ ).

В  $N_2O$  міститься 36 % за масою кисню. Цю перевагу  $N_2O$  перед повітрям (21 % кисню) використовують в автомобільному спорті на режимах розганяння і повної потужності для здійснення хімічного наддуву.

В НТУ були виконані дослідження з додаванням  $N_2O$  до бензоповітряної суміші на режимах низьких і середніх навантажень з метою визначення впливу добавки на концентрації викидів шкідливих речовин у ВГ бензинового ДВЗ [8].

При додаванні закису азоту до повітряного заряду в кількості 10 % по об'єму за роботи в економайзерному режимі з  $\alpha = 0,9$  ( $n = 2700 \text{ хв}^{-1}$ ) питомі масові викиди  $CO$  зменшуються в 1,72 рази,  $C_mH_n$  - в 1,12 рази, а викиди  $NO_x$  зростають в 1,24 рази [9].

Добавки у виді газоподібного палива, які синтезуються у присутності каталізатора на борту автомобіля (біля двигуна) і використовують утилізаційну теплоту ВГ - тема окремих досліджень.

Рециркуляція ВГ.

Її поділяють на внутрішню і зовнішню.

Внутрішня рециркуляція – це залишкові гази в циліндрі від попереднього згорання, кількість яких залежить від перекриття клапанів, наявності наддуву, наявності автоматичних систем регулювання фаз газорозподілу.

Застосування зовнішньої системи рециркуляції ВГ на бензиновому ДВЗ забезпечує зменшення викидів  $NO_x$  і витрати палива. Дослідження рециркуляції на газових ДВЗ не проводилися.

Додавання до робочої суміші інертних (рециркуляційних) ВГ зменшує максимальні значення температури в циліндрі ДВЗ при згоранні що відповідно зменшує утворення  $NO_x$  у ВГ. Цей ефект



збільшується при додаванні охолоджених ВГ в циліндр ДВЗ. Додавання рециркуляційних ВГ збільшує загальне наповнення циліндра, зменшує дроселювання на впуску бензинового ДВЗ на впуску бензинового ДВЗ, і відповідно поліпшує паливну економічність.

Особливу роль система зовнішньої рециркуляції ВГ відіграє в бензинових ДВЗ з безпосереднім впорскуванням в циліндр. Якщо такий ДВЗ працює в режимі сильно збіднених сумішей ( $\alpha = 2,0 \dots 3,5$ ), то з рециркуляційними ВГ у впускний трубопровід і циліндр повертається суттєва кількість кисню. Вважається, що за цих умов можливо відмовитись від каталітичного нейтралізатора з накопичувачем  $NO_x$  [4]. Зазначимо, що система автоматичного управління електронним клапаном рециркуляції ВГ в бензинових ДВЗ з безпосереднім впорскуванням більш складна із-за зменшення дроселювання на часткових режимах навантаження.

В НТУ на кафедрі «Двигуни і теплотехніка» застосовували рециркуляцію ВГ при регулюванні потужності відключенням групи циліндрів [10]. Була рекомендована 4...5 % ступінь рециркуляції ВГ при регулюванні потужності бензинового ДВЗ відключенням групи циліндрів. Концентрації  $NO_x$  за цих значень ступеня рециркуляції зменшились в 1,7...3 рази, що відповідно зменшило сумарну токсичність ВГ в часткових швидкісних і навантажувальних режимах.

В НТУ спільно з інститутом газу НАН України розпочато дослідження зовнішньої рециркуляції ВГ на газовому ДВЗ з примусовим запалюванням, який працює на привід електрогенератора когенераційної установки [11].

В дослідженнях на двигуні 8Ч 10/8,8 виконали фізичне моделювання зовнішньої рециркуляції охолоджених ВГ додаванням інертного газу до газоповітряної горючої суміші. В діапазоні додавання 8...30 % за масою (до основного палива), інертного газу отримано стабільну роботу газового ДВЗ за усталених і перехідних режимів.

Каталізатори на поверхні КЗ.

Роботи з використання каталізаторів на поверхні камери згорання дизелів були розпочати в 60-х роках минулого сторіччя. Результати досліджень таких дизелів мають протиріччя, в багатьох дослідженнях не було досягнуто очікуваного ефекту щодо використання теплоти в циліндрі та паливної економічності [12]. На бензинових ДВЗ досліджень і розробок з використання каталітичного покриття на поверхні камери згорання суттєво менше. Це пов'язано з тим, що у бензинових ДВЗ максимальні температури в кінці вищі, ніж у дизеля, існує можливість виникнення детонаційного згорання.

Сучасні методи отримання корундової кераміки.

Дослідження структури і властивостей наносистем розпочалися після 1985 р. Було встановлено, що зменшення розміру структурних елементів наносистеми нижче 100 нм приводить до неочікуваної різкої зміни властивостей всієї системи. Найчіткіше ці зміни були виявлені за розміру частинок менших 10 нм. Традиційний метод виготовлення каталізаторів побудовано на нанесенні каталітичного компонента на носій з великою питомою поверхнею. В ДВЗ використовують у якості носія корундову кераміку –  $Al_2O_3$  з питомою поверхнею 100 м<sup>2</sup>/г [12, 13].

Корундова кераміка на базі  $\alpha-Al_2O_3$  широко застосовується в різних областях техніки. Це обумовлено тим, що вона володіє високою міцністю, корозійною стійкістю, добрими діелектричними показниками і зносостійкістю. Але оскільки всі її властивості являються структурно-чутливими, для підвищення конкурентоздатності основну увагу сучасних розробок в цій області направлено на створення технологій, дозволяючи отримувати більш досконалі структури кераміки.

Вирішенню проблеми отримання дрібнозернистої корундової кераміки присвячена велика кількість досліджень. Серед них, на наш погляд, найбільш перспективні такі напрями: легування нанопорошків  $\alpha-Al_2O_3$  добавками, забезпечують блокування росту зерен при спіканні і приводять до високої міцності їх кордонів [12], отримання двофазної високоміцної корундової кераміки [14] з використанням конкуруючих дифузійних механізмів ущільнення і спікання двох фаз, використання надзвичайно дрібного порошку  $\gamma-Al_2O_3$  або інших метастабільних похідних оксиду алюмінію, отриманих хімічним осадженням з розчинів, для створення нанозернистої кераміки  $\alpha-Al_2O_3$  [8].

Аналіз світових досягнень у розглянутій області та облік наявних результатів показують що перспективи створення конкурентної корундової кераміки залежать від рішення наступних завдань: активація поверхні вихідних керамічних порошків з метою їх пластифікування при пресуванні, а також їх ущільнення при спіканні, введення гомогенно розподілених по поверхні наночастинок компонентів легуючих матеріалів, що дозволяють контролювати дифузійні процеси на поверхні частинок і міжфазних розділах з мінімальним зростанням зерна, введення наночастинок легуючого матеріалу, здатних формувати в процесі спікання не лише міцні кордони сполучених зерен  $Al_2O_3$ , але і стики трьох зерен.



Методи отримання металевих каталізаторів.

Однорідність наноструктури металу на поверхні обраного носія досягають методами [12]:

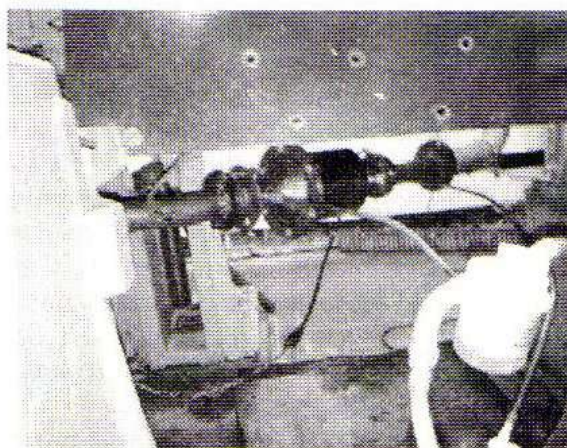
- відновленням нанесеної солі відповідного металу;
- відновленням і видаленням лігандів із нанесених металоорганічних сполук;
- електрохімічним осадженням металу на поверхню носія;
- осадженням металу на поверхню носія з газової фази за допомогою сучасних високоенергетичних методів, наприклад методом лазерного електродиспергування (ЛЕД).

Спеціалісти фізичної хімії відзначають переваги технології отримання металевих нанокаталізаторів без використання носія з великою питомою поверхнею.

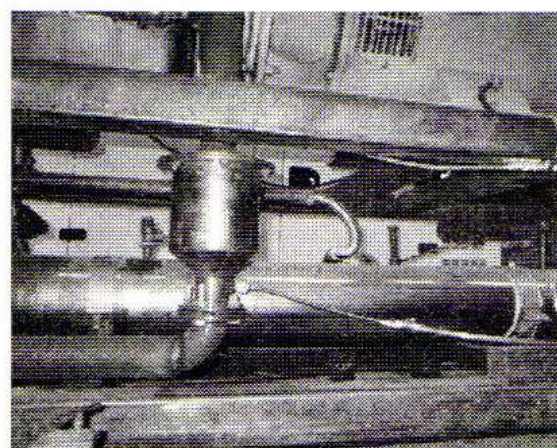
Можливість застосування і ефективність розмірного ефекту для зовнішньої та внутрішньої циліндрової нейтралізації ВГ ДВЗ потребує перевірки і співпраці двигунобудівників з спеціалістами фізичної хімії.

На базі вище наведених методів Національним технічним університетом «ХПІ» було запропоновано технологію виготовлення експериментального зразку вітчизняний блок каталітичного нейтралізатора з носіями металоволокневої структури і покриттями на основі металів 3d-елементів і паладію.

Експериментальні дослідження трикомпонентного вітчизняного каталітичного нейтралізатора були виконані на бензиновому двигуні VW BBY (рис. 2, а) та на газовому двигуні 8ГЧ10/8,8 (рис. 2, б) [15, 16]



а



б

Рисунок 2 – Випускна система з встановленим експериментальним каталітичним нейтралізатором:

а) бензинового двигуна VW BBY; б) газового двигуна 8ГЧ 10/8,8

Результати досліджень засвідчили, що в цілому експериментальний нейтралізатор ВГ на місці основного блоку у випускній системі двигуна VW BBY може працювати практично не гірше за серійний блок основного нейтралізатора. Найбільша ефективність каталізаторів направлена на нейтралізацію викидів оксидів азоту, це було підтверджено додатковими експериментальними дослідженнями на газовому двигуні 8ГЧ10/8,8.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Галенко М.В. Использование электрокатализа для нейтрализации отработанных газов автотранспорта / Галенко М.В., Столяренко Г.С., Малявка К.А. // Современные научные исследования и инновации. 2012. № 8 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2012/08/16594>.
2. 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.
3. Лісовал А. Методи каталітичної нейтралізації відпрацьованих газів автомобільних двигунів з примусовим запалюванням / Лісовал А., Свистун Ю., Нижник М., Чудак М // Systems and means of motor transport. Selected problems. Монографія №5 під ред. К.Лейди. Жешув. – 2014. – С.191-198;
4. Системы управления бензиновыми двигателями. Перевод с нем. Первое рус. изд. – М.: ООО Книжное изд. «За рулем», 2005. – 432 с.



5. Асяев А. Н. Исследование влияния качества спирта и состава углеводородной фракции на физико-химические и эксплуатационные показатели биоэтанольного топлива E85 / Асяев А. Н., Емельянов В. Е., Никитина Е. А // Технологии нефти и газа. – 2010. – №4 (69) – С. 24-28
6. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. – М.: машиностроение, 1981. – 160 с
7. Екологія та автомобільний транспорт: Навчальний посібник / Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А.Г. та інші. – К.: Арістей, 2006. – 292 с.
8. Гутаревич Ю.Ф. Покращення індикаторних показників бензинового двигуна добавкою закису азоту до повітря / Гутаревич Ю.Ф., Гаркуша Ю.В., Мержієвська Л.П. // Вісник НТУ. – 2008. - №16. – С.50 – 53.
9. Гутаревич Ю.Ф. Вплив добавки кисневмісного газу на склад паливо повітряної суміші двигуна з іскровим запалюванням // Гутаревич Ю.Ф., Гаркуша Ю.В. // Вісник НТУ. – 2006. - №12. – С.122 – 125.
10. Гутаревич Ю.Ф., Матсйчик В.П., Ковбасенко С.В. Зниження токсичності бензинового двигуна з відключенням групи циліндрів шляхом застосування рециркуляції відпрацьованих газів // Праці Західного наукового центру НАУ. «Проектування, виробництво та експлуатація автомобільних засобів і поїздів», т.5. – Львів. -1998. – с. 21-22.
11. Лісовал А.А. Моторна установка для дослідження робочого процесу газового двигуна / Лісовал А.А., Нижник М.Є // Вісник НТУ. -№ 25. – Частина 1. – 2012. – С. 159-165.
12. Васильев И.П., Клюс О.В. Внутрицилиндровый катализ в дизелях. – Калининград, КГТУ. – 2008. – 133 с
13. Хіміч Н.Ю. Наноструктуровані каталізатори / Хіміч Н.Ю., Полункін Є.В // Катализ и нефтехимия. – 2012. – № 21. – С. 86-97
14. P. Govindasamy, S.Dhandapans. Experimental investigation of Cyclic Variation of Combustion Parameters in Catalytically Activated and Magnetically Energised Two-stroke SI Engine // Journal of Energy & Environment – Vol.6, May 2007. – P. 45 – 59.
15. Лісовал А.А. Испытания нейтрализатор на эффективность очистки отработавших газов двигателя с принудительным зажиганием / Лісовал А.А., Парсаданов И.В., Свистун Ю.А., Рыкова И.В // Двигатели внутреннего сгорания. Харьков, НТУ «ХПИ». – 2015. – № 1. – С.44-47.
16. Лісовал А.А. Аналіз ефективності зовнішнього експериментального каталітичного нейтралізатора відпрацьованих газів / Лісовал А., Парсаданов І., Свистун Ю., Бугрик М. // Systems and means of motor transport. Selected problems. Монографія №6 під ред. К.Лейди. Жешув, 2015, С.177-182.

## REFERENCES

1. Galenko M.V. Ispolzovanie elektrokataliza dlya neytralizatsii otrabotannyih gazov avtotransporta / Galenko M.V., Stolyarenko G.S., Malyavka K.A. // Sovremennyye nauchnyie issledovaniya i innovatsii. 2012. # 8 [Elektronnyiy resurs]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2012/08/16594>.
2. Uvedennya ekologichnih norm Evro-3 – Evro-6 v Ukrayini, analiz strukturi parku avtomobiliv za ekologichnimi oznakami / A. M. Redzyuk., V. S. Ustimenko., O. A. Klimenko [ta In.] // Avtoshlyahovik Ukrayini. – 2011. – #4. – S. 2–7.
3. Lisoval A. Metodi katalitichnoyi neytralizatsiyi vidpratsovanih gaziv avtomobilnih dviguniv z primusovim zapalyuvannyam / Lisoval A., Svistun Yu., Nizhnik M., Chudak M // Systems and means of motor transport. Selected problems. Monograflya #5 pld red. K.Leydi. Zheshuv. – 2014. – S.191-198;
4. Sistemy upravleniya benzinovymi dvigatelyami. Perevod s nem. Pervoe rus. izd. – M.: OOO Knizhnoe izd. «Za rulem», 2005. – 432 s.
5. Asyaev A. N. Issledovanie vliyaniya kachestva spirta i sostava uglevodorodnoy fraktsii na fiziko-himicheskie i ekspluatatsionnyie pokazateli bioetanolnogo topliva E85 / Asyaev A. N., Emelyanov V. E, Nikitina E. A // Tehnologii nefiti i gaza. – 2010. – #4 (69) – S. 24-28
6. Zvonov V.A. Toksichnost dvigateley vnutrennego sgoraniya. – M.: mashinostroenie, 1981. – 160 s.
7. Ekologiya ta avtomobilniy transport: Navchalniy posibnik / Gutarevich Yu.F., Zerkalov D.V., Govorun A.G. ta inshi. – K.: Arlstej, 2006. – 292 s.
8. Gutarevich Yu.F. Pokraschennya Indikatornih pokaznikov benzinovogo dviguna dobavkoyu zakisu azotu do povltrya / Gutarevich Yu.F., Garkusha Yu.V., MerzhiEvska L.P. // VIsnik NTU. – 2008. - #16. – S.50 – 53.
9. Gutarevich Yu.F. Vpliv dobavki kisnevemisnogo gazu na sklad palivo povitryanoi sumishi



dviguna z iskrovim zapalyuvannyam // Gutarevich Yu.F., Garkusha Yu.V. // VIsnik NTU. – 2006. - #12. – S.122 – 125.

10. Gutarevich Yu.F., Mateychik V.P., Kovbasenko S.V. Znizhennya toksichnosti benzinovogo dviguna z vidklyuchennyam grupi tsilindriv shlyahom zastosuvannya retsirkulyatsiyi vidpratsovanih gaziv // Pratsi Zahidnogo naukovogo tsentru TAU. «Proektuvannya, virobnitstvo ta ekspluatatsiya avtomobilnih zasobiv i moyidiv», t.5. – Lviv. -1998. – s. 21-22.

11. Lisoval A.A. Motorna ustanovka dlya doslidzhennya robochogo protsesu gazovogo dviguna / Lisoval A.A., Nizhnik M.E // VIsnik NTU. -# 25. – Chastina1. – 2012. – S. 159-165.

12. Vasilev I.P., Klyus O.V. Vnutritsilindrovyy kataliz v dizelyah. – Kaliningrad, KGTU. – 2008. – 133 s

13. Himich N.Yu. Nanostrukturovani katalizatori / Himich N.Yu., Polunkin E.V // Kataliz i neftekhimiya. – 2012. – # 21. – S. 86–97

14. P. Govindasamy, S.Dhandapans. Experimental investigation of Cyclic Variation of Combustion Parameters in Catalytically Activated and Magnetically Energised Two-stroke SI Engine // Journal of Energy & Environment – Vol.6, May 2007. – P. 45 – 59.

15. Lisoval A.A. Ispytaniya neytralizator na effektivnost ochistki otrabotavshih gazov dvigatelya s prinuditelnyim zazhiganiem / Lisoval A.A., Parsadanov I.V., Svistun Yu.A., Ryikova I.V // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. Harkov, NTU «HPI». – 2015. – # 1. – S.44-47.

16. Lisoval.A. Analiz effektivnosti zovnishnogo eksperimentalnogo katalitichnogo neytralizatora vldpratsovanih gaziv / Lisoval A., Parsadanov I., Svistun Yu., Bugrik M. // Systems and means of motor transport. Selected problems. Monografiya #6 pld red. K.Leydi. Zheshuv, 2015, S.177-182.

#### РЕФЕРАТ

Лісовал А.А. Сучасні методи екологізації двигунів внутрішнього згорання з іскровим запалюванням / А.А. Лісовал, Ю.А. Свистун // Управління проектами, системний аналіз і логістика. – К.: НТУ – 2016. – Вип.16.

У статті ґрунтовно розглянуті сучасні методи екологізації двигунів внутрішнього згорання з іскровим запалюванням, представлено аналіз зовнішніх та внутрішньо циліндрових методів каталітичної нейтралізації з метою прискореного впровадження норм Євро-5 і далі Євро-6 на автомобілях, які виробляються і експлуатуються в Україні без погіршення паливної економічності.

Об'єктом теоретичних досліджень є аналіз різних методів нейтралізації та їх вплив на концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах поршневих двигунів внутрішнього згорання з іскровим запалюванням

Предметом дослідження є концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах та паливна економічність поршневих двигунів внутрішнього згорання з іскровим запалюванням при різних методах каталітичної нейтралізації.

Каталітичну нейтралізацію ВГ за методами класифікували на підгрупи зовнішньої, внутрішньо циліндрової нейтралізації та комбіновані методи. Останній метод є одночасним поєднанням зовнішньої та внутрішньо циліндрової нейтралізації ВГ. Наприклад, рециркуляція ВГ і трикомпонентний нейтралізатор.

В статті основну увагу приділено підгрупам зовнішньої та внутрішньо циліндрової нейтралізації ВГ. Аналіз зовнішньої каталітичної нейтралізації ВГ виконано за напрямками: прискорення окислювальних реакцій, прискорення відновлювальних реакцій, застосування трикомпонентних нейтралізаторів ВГ. Аналіз внутрішньо циліндрової каталітичної нейтралізації ВГ виконано за напрямками: добавки до палив, присадки до палив, сумішеві палива, додавання газових сумішей з повітрям, рециркуляція ВГ, використання каталізаторів на поверхні камери згорання.

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

#### ABSTRACT

Lisoval A.A., Svystun Yu.A. Modern methods of increasing environmental efficiency of internal combustion engine with spark ignition. Kyiv. National Transport University. 2016. Vol. 16.

The article thoroughly discussed modern methods of establishing ecological internal combustion engines with spark ignition, an analysis of external and internal methods of catalytic emissions reduction for the purpose of accelerating the introduction of Euro-5 and further Euro 6 cars that are manufactured and operated in Ukraine without compromising fuel economy.

The object of theoretical research is analyze the different methods of neutralization and their effect



on the concentration of harmful substances in exhaust gases reciprocating internal combustion engines with spark ignition.

The subject of the study is the concentration of harmful substances in exhaust gases and fuel efficiency of reciprocating internal combustion engines with spark ignition for various catalytic methods.

Catalytic exhaust gases by means divided into external, internal cylindrical neutralization and combined methods. The latter method is the simultaneous combination of external and internal cylindrical neutralization of exhaust gases. For example, exhaust gas recirculation and three-component converter.

The article focuses on subgroups of external and internal cylindrical neutralization of exhaust gases. Analysis of external catalytic exhaust gas made following areas: accelerating oxidation reactions, accelerating renewable reactions use three-converters of exhaust gases. Analysis middle cylinder exhaust gas catalytic executed the following areas: additives for fuels, additives to petrol, fuel mix, adding a gas mixture of air, exhaust gas recirculation, the use of catalysts on the surface of the combustion chamber.

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

#### РЕФЕРАТ

Лисовал А.А. Современные методы экологизации двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием / А.А. Лисовал, Ю.А. Свистун // Управление проектами, системный анализ и логистика. – К.: НТУ - 2016. - Вып. 16.

В статье основательно рассмотрены современные методы экологизации двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием, представлен анализ внешних и внутренне цилиндровых методов каталитической нейтрализации с целью ускоренного внедрения норм Евро-5 и дальнейших норм Евро-6 на автомобилях, которые производятся и эксплуатируются в Украине без ухудшения топливной экономичности.

Объектом теоретических исследований является анализ различных методов нейтрализации и их влияние на концентрации вредных веществ в отработанных газах двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием

Предметом исследования является концентрации вредных веществ в отработанных газах и топливная экономичность двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием при различных методах каталитической нейтрализации.

Каталитическую нейтрализацию ВГ по методам классифицировали на подгруппы внешней, внутренне цилиндрической нейтрализации и комбинированные методы. Последний метод является одновременным сочетанием внешней и внутренне цилиндрической нейтрализации ОГ. Например, рециркуляция ОГ и трехкомпонентный нейтрализатор.

В статье основное внимание уделено подгруппам внешней и внутренне цилиндрической нейтрализации ОГ. Анализ внешней каталитической нейтрализации ОГ выполнен по направлениям: ускорение окислительных реакций, ускорение восстановительных реакций, применение трехкомпонентных нейтрализаторов ОГ. Анализ внутренне цилиндрической каталитической нейтрализации ОГ выполнен по направлениям: добавки к топливам, присадки к топливам, смесевые топлива, добавление смесей с воздухом, рециркуляция ОГ, использование катализаторов на поверхности камеры сгорания.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, ИСКРОВОЕ ЗАЖИГАНИЕ, ВНЕШНЯЯ НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ, ЭКОЛОГИЗАЦИЯ, КАМЕРА СГОРАНИЯ, ОТРАБОТАННЫЕ ГАЗЫ

#### АВТОРИ:

Лисовал Анатолий Анатолійович, доктор технічних наук, доцент, 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. +380633529751, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 303а.

#### AUTHORS:

Lisoval Anatolii A., Doctor of Technical Science, Associate 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.

Svystun Yuriy A., National Transport University, Postgraduate of the Department of engines and



heating engineering, e-mail: svystun\_yurec@ukr.net, tel. +380633529751, Ukraine, 01010, Kyiv, 1 Suvorova St., of. 303a.

**АВТОРЫ:**

Лисовал Анатолий Анатольевич, доктор технических наук, доцент, 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, e-mail: svystun\_yurec@ukr.net, tel. +380633529751, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 303а.

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Сахно Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, м. Київ, Україна.

Майборода Олександр Миколайович, доктор технічних наук, професор, Київська державна академія водного транспорту, завідувач кафедри судноводіння та керування судном, м. Київ, Україна.

**REVIEWERS:**

Sakhno V.P., PhD, Engineering (Dr.), National Transport University, Head of the Automobile department, Kyiv, Ukraine.

Mayboroda O.M. – PhD, Engineering (Dr.), Kyiv State Academy of Water Transport, Navigation and vessel control department, Kyiv, Ukraine