

УДК 628.52/53:621.431.73

ВПЛИВ ОЗОНУ НА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ**А. В. Громыко, Г. С. Столяренко**

Черкаський державний технологічний університет

бульв. Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна. E-mail: and-gromyko@yandex.ru

Наведено методику проведення експериментів та результати досліджень спалювання озонованого бензину в карбюраторному двигуні внутрішнього згорання стендової установки. Досліджено екологічні показники двигуна на різних режимах його роботи. Встановлено, що озон як добавка до палива підвищує повноту згорання паливо-повітряних сумішей та знижує вміст у відпрацьованих газах двигуна таких токсичних сполук, як оксид вуглецю (II), вуглеводні палива та оксиди азоту. За результатами експериментів визначено оптимальний режим озонування бензину та оптимальну кількість озону в паливі для покращення екологічних показників двигуна.

Ключові слова: двигун, озонований бензин, відпрацьований газ, екологічні показники.

ВЛИЯНИЕ ОЗОНА НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**А. В. Громыко, Г. С. Столяренко**

Черкасский государственный технологический университет

бульв. Шевченко, 460, г. Черкассы, 18006, Украина. E-mail: and-gromyko@yandex.ru

Приведена методика проведения экспериментов и результаты исследований сжигания озонированного бензина в карбюраторном двигателе внутреннего сгорания стендовой установки. Исследованы экологические показатели двигателя на различных режимах его работы. Установлено, что озон как добавка к топливу повышает полноту сгорания топливно-воздушных смесей и снижает содержание в отработавших газах двигателя таких токсичных соединений, как оксид углерода (II), углеводороды топлива и оксиды азота. По результатам экспериментов определен оптимальный режим озонирования бензина и оптимальное количество озона в топливе для улучшения экологических показателей двигателя.

Ключевые слова: двигатель, озонированный бензин, отработанный газ, экологические показатели.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Процеси горіння різних видів палива займають провідне місце в технології експлуатації автомобільного транспорту, отримання тепла і електроенергії, металургії та різних виробничих процесах. Процеси спалювання супроводжуються виділенням в оточуюче середовище великої кількості токсичних сполук. В Україні експлуатується понад 1 млн. вантажних автомобілів та 2,5 млн. легкових, кожен з яких в середньому спалює від 12 до 30 т високооктанового бензину. Викиди забруднюючих речовин автомобільним транспортом в середньому за рік становлять близько 5,5 млн. т (39 % всього обсягу викидів в Україні). У великих містах забруднення повітря вихлопними газами часом складає 70–90 % загального забруднення. У відпрацьованих газах автотранспорту виявлено близько 280 різних токсичних речовин. Під час згорання бензинів з відпрацьованими газами двигунів викидається оксид вуглецю (II), оксиди азоту, альдегіди, бенз[а]пірен, вуглеводні, сажа тощо. У бензинах нерідко як антидетонатор використовується тетраетилсвінець, що спричиняє викиди з вихлопними газами досить токсичних сполук плюмбуму [1].

Стрімке зростання кількості автомобілів в Україні в останні роки, гармонізація вітчизняного законодавства з вимогами СOT, перспективними нормами викидів автотранспорту введеними керівними органами Європейського Союзу і відомими як «Євро-3», «Євро-4» та «Євро-5», спонукали також створення нових вітчизняних стандартів у сфері нормування викидів відпрацьованих газів автомобілів (ДСТУ

4276–04 «Норми і методи вимірювань димності у відпрацьованих газах автомобілів з дизелями або газодизелями», ДСТУ 4277–04 «Норми і методи вимірювання вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів, що працюють на бензині або газовому паливі»). Виконання норм викидів токсичних речовин з вихлопними газами автомобілів вимагає від виробників комплексного підходу до процесу ефективного горіння рідких палив в двигунах.

Основними шляхами зниження токсичності вихлопних газів (ВГ) двигунів є: попередження утворення токсичних компонентів (зміна параметрів роботи двигуна за рахунок регулювання системи живлення; зміна конструкції камер спалювання палива; подача палива безпосередньо в камеру згорання. тощо); нейтралізація утворених токсичних домішок (рециркуляція відпрацьованих газів; вогнева нейтралізація відпрацьованих газів; каталітична нейтралізація; використання присадок).

До переваг цих способів можна віднести ефективно зниження вмісту токсичних компонентів у вихлопних газах двигуна внутрішнього згорання, а до недоліків – ускладнення або зміна конструкції двигуна, створення необхідних умов для роботи нейтралізуючих пристроїв, ефективна робота цих пристроїв на певних режимах роботи двигуна, поява нових токсичних речовин у вихлопних газах у результаті використання присадок [2].

Метою даної роботи є вивчення впливу озону на ініціювання та прискорення ланцюгових реакцій

окислення вуглеводнів бензину в зоні горіння задля збільшення повноти згорання палива та зниження токсичності відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Дослідження щодо роботи стендового двигуна на озонованому паливі проводилися на стендовій установці, що знаходиться на кафедрі автомобілів та технологій їх експлуатації Черкаського державного технологічного університету та складалася з карбюраторного двигуна ВАЗ–2106 і обкаточного стенду з дисковим гідравлічним гальмом. Двигун з'єднувався з гідравлічним гальмом за допомогою сполучної муфти.

Під час проведення експериментів у режимах роботи двигуна з навантаженням та без навантаження замірялися: температура вихлопних газів; кількісний вміст озону в паливі, концентрацію у вихлопних газах оксиду вуглецю (II), оксидів азоту, вуглеводнів; витрати повітря; витрати палива; час роботи та частоту обертів двигуна.

Методика проведення експериментів була наступною. Озоно–повітряна суміш, що утворювалася в генераторі озону 5 (рис. 1) через розподільник потоку подавалася безпосередньо до реактору 6 (для вимірювання витрат палива реактор був розташований на чаші вагів). Озоноване паливо із реактора 6 через сепаратор 7 бензонасосом подавалося в карбюратор, де, змішуючись з повітрям, утворювало паливо–повітряну суміш, яка по дифузору 9 надходила до камери згорання двигуна. Вихлопний газ, що утворюється в камері згорання по вихлопній трубі відводився у вентиляційний канал. Дросельною заслінкою дифузора карбюратора 9 задавалися різні режими роботи двигуна.

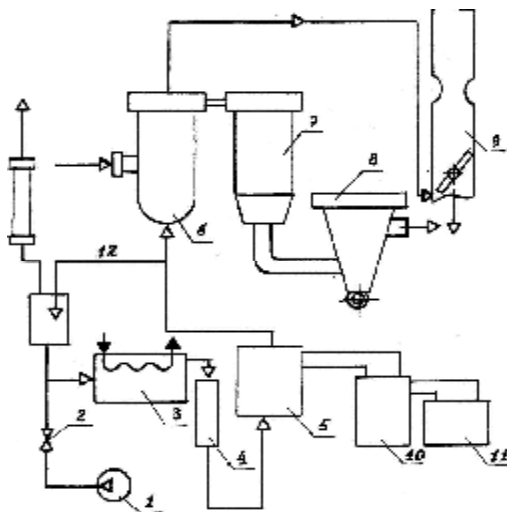


Рисунок 1 – Схема дослідної установки озонної інтенсифікації процесів горіння палива в двигуні внутрішнього згорання: 1 – компресор; 2 – вентиль; 3 – адсорбер; 4 – диференційний манометр; 5 – генератор озону; 6 – реактор; 7 – сепаратор; 8 – бензонасос; 9 – дифузор карбюратора; 10 – перетворювач напруги; 11 – акумуляторна батарея; 12 – байпас

Витрати палива під час роботи двигуна замірялася шляхом прямого визначення зміни маси палива в часі. Витрати повітря на утворення паливо–повітряної суміші замірялися за допомогою диференційного манометра.

Температуру відпрацьованих газів вимірювали за допомогою термомпари, встановленої у випускному колекторі. Оберти двигуна визначали за допомогою тахометра, встановленого на двигуні, а шкала тахометра буда розташована на щиті управління стендової установки. Режими роботи двигуна з навантаженням задавалися за допомогою дискового гідравлічного гальма.

Для визначення озону в газовій фазі була використана методика йодометричного титрування. Крім йодометричного методу, контроль за аналізом концентрації озону в потоці повітря проводився спектрофотометрично за допомогою спектрофотометра СФ–46. Градування спектрофотометра здійснювалася йодометричним методом на стандартній кюветі довжиною 100 мм із вікнами з оптичного кварцу. Заміри оптичної густини здійснювалися при довжині хвилі 260 нм. Вміст озону в бензині визначався за продуктивністю озонатора та часом пропускання озоно–повітряної суміші через визначений об'єм палива. Визначення концентрації у відхідних газах установок спалювання оксиду вуглецю (II) та газоподібних вуглеводнів проводилося оптико–абсорбційним методом. Для аналізу вмісту у відхідних газах оксиду вуглецю (II) використовують газоаналізатор 121 ФА–01, а вуглеводнів – газоаналізатор 123 ФА–02. Вимірювання проводилися згідно ГОСТ 17.2.2.08–87 та ГОСТ 17.2.2.03–87 відповідно. Для визначення концентрації оксидів азоту у відхідних газах було використано фотоколориметричний метод з використанням реактиву Грісса–Ілосваля.

Температура відхідних газів під час проведення досліджень замірялася за допомогою термоелектричного термометра. Як первинний перетворювач термоелектричного термометра використано хромель–алюмелеву термопару, а як вторинний прилад – мілівольметр типу Ш 69004.

Режим роботи двигуна, який характеризується коефіцієнтом надлишку повітря (α), має значний вплив на вміст токсичних сполук у відпрацьованих газах. Концентрація оксиду вуглецю (II) у ВГ двигунів з іскровим запаленням досягає мінімуму для складу суміші, що є близьким до стехіометричного і збідненого, а концентрація вуглеводнів при $\alpha > 1,0-1,1$ спочатку падає, потім різко зростає. Збільшення кількості вуглеводнів у ВГ при роботі двигуна на збіднених сумішах пояснюється малою швидкістю їх згорання та значною нерівномірністю циклів згорання. Крім того, при роботі на бідній суміші в результаті нерівномірного її розподілу відбувається виключення окремих циліндрів і незгорілі вуглеводні викидаються у випускний трубопровід.

Робота двигуна в режимі навантажень характеризується зміною його потужності. В карбюраторних двигунах різке підвищення потужності досягається зміною положення дросельної заслінки, тобто завдяки збільшенню кількості горючої суміші, що

надходить до циліндрів двигуна. При частковому навантаженні в результаті прикриття дросельної заслінки погіршується процес газообміну, в об'ємі паливо-повітряної суміші збільшується частка залишків відпрацьованих газів від попереднього циклу згоряння. Це має значний вплив на склад суміші (для даного режиму роботи повинна бути збагаченою), сам процес згоряння, а отже, і на концентрацію токсичних сполук у відпрацьованих газах. У діапазоні середніх навантажень карбюраторний двигун працює на сумішах, дещо збагачених ($\alpha = 0,95-0,98$) порівняно із стехіометричними. При цьому на режимах 40–70 % навантажень концентрація СО є найменшою і складає 1–2 %, концентрація вуглеводнів також незначна, а концентрація оксидів азоту досягає максимальної величини.

При зростанні навантажень до двигуна надходить більш багата суміш, необхідна для забезпечення

найбільшої потужності. В результаті спостерігається різке зростання викиду оксиду вуглецю (II), дещо менше зростають викиди вуглеводнів і зменшуються викиди оксидів азоту. При роботі карбюраторних двигунів на режимах повного навантаження в циліндри поступає багата суміш, а концентрація оксиду вуглецю (II) складає 4–5 % [3].

Область проведення експериментів при роботі стендового двигуна на озонованому паливі була обрана із режимів роботи, за яких токсичність відпрацьованих газів є максимальною, тобто в режимі холостого ходу за умови регулювання карбюратора на максимальну потужність при $\alpha = 0,66-0,7$, а для режиму при роботі двигуна з навантаженням при $\alpha = 0,9-0,93$ та $P_n = 15$ кг. Отримані експериментальні дані показані в табл. 1 та 2, а також у вигляді графічних залежностей (рис. 2, 3). Вони характеризують позитивний вплив озону на повноту згоряння бензину.

Таблиця 1 – Результати роботи стендового двигуна в режимі холостого ходу на озонованому бензині

Характеристика	Вміст озону в паливі, г/кг _{пал.}				
	0	0,1	0,2	0,4	0,8
Частота обертання валу двигуна, об./хв.	1000	1000	990	980	1000
Температура відпрацьованих газів, °С	264	260	255	250	265
Витрати повітря, кг/год.	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
Витрати бензину, кг/год.	0,84	0,75	0,62	0,54	0,66
Коефіцієнт надлишку повітря	0,66	0,74	0,9	1,02	0,84
Вміст оксиду вуглецю (II), % об.	2,0	1,05	0,77	0,74	1,9
Вміст оксиду азоту, мг/м ³	300	262	244	243	300
Вміст вуглеводнів, мг/м ³	220	144	102	92	220

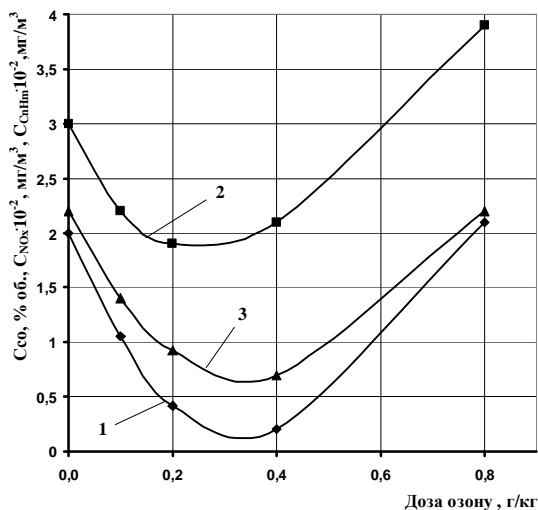


Рисунок 2 – Залежності зміни вмісту токсичних сполук у відпрацьованих газах ДВЗ стендової установки в режимі холостого ходу ($\alpha = 0,66-0,7$; $n = 1000$ об./хв.) при роботі двигуна на озонованому бензині: 1 – вміст СО; 2 – вміст NO_x; 3 – вміст C_nH_m

Прийнявши за основу отримані експериментальні дані зі зниження вмісту у відпрацьованих газах оксиду вуглецю (II), вуглеводнів палива, оксидів азоту, можна чітко визначити оптимальний режим

озонування бензину та визначити оптимальну кількість озону в паливі для покращення екологічних показників двигуна. Такою кількістю озону можна вважати 0,2–0,4 г/кг, що наглядно ілюструється графічними залежностями.

Порівняно з дослідними даними зі спалювання неозонованого бензину при спалюванні озонованого палива з вмістом озону 0,2 г/кг вміст оксиду вуглецю (II) у відпрацьованих газах знижується на 61 %, а при роботі двигуна на озонованому паливі із вмістом озону 0,4 г/кг цей показник знижується на 63 %. Вміст вуглеводнів у відпрацьованих газах за наявності озону в паливі 0,2 г/кг зменшується на 54 %, а при спалюванні озонованого палива з вмістом озону 0,4 г/кг – на 58 %.

Збільшення ж концентрації озону в паливі до 0,8 г/кг погіршує показники його горіння в двигуні, знижуючи вміст оксиду вуглецю (II) у відпрацьованих газах лише на 5 %. Вміст вуглеводнів та оксидів азоту залишається на рівні горіння неозонованого бензину.

Такий результат можна пояснити тим, що при зростанні кількості озону в паливі за рахунок його високої реакційної здатності, він починає реагувати з високооктановими вуглеводнями бензину, що знижує повноту згоряння палива в циліндрах двигуна.

Зельдович Я.Б. проводив дослідження за трьома напрямками, що стосуються утворення оксидів азоту. Встановлено, що оксиди азоту з'являються в зоні

горіння, де немає молекул вуглеводнів палива і не проходять реакції окислення, тобто найбільша кількість оксидів азоту буде з'являтися за умови максимальної температури процесу згоряння палива. Розглядається також механізм виникнення оксидів азоту, пов'язаний з утворенням радикалу HNO^\bullet , що можливо при взаємодії атомарного водню з оксидом азоту [4].

При роботі двигуна на бензині з вмістом озону 0,2 і 0,4 г/кг спостерігається зниження у відпрацьованих газах концентрації оксидів азоту на 13 та 19 % відповідно. Такий результат пояснюється тим, що при проходженні процесу згоряння палива в двигуні, за рахунок утворення оксидних та пероксидних радикалів в об'ємі озонованої паливо-повітряної суміші пригнічується утворення радикалів CH^\bullet , які можуть виступати ініціаторами утворення іонів водню, які, в свою чергу, під час взаємодії з оксидом

азоту утворюють радикал HNO^\bullet . Останній в умовах високих температур додатково створює можливість для ланцюгового механізму перебігу реакції утворення NO , тобто поява оксидів азоту в циліндрах двигуна носить, в основному, термічний характер. Температура ж відпрацьованих газів при згорянні палива з вмістом озону 0,2, 0,4 г/кг знижується на 9–14 °C (рис. 3).

Згідно з експериментальними даними при роботі двигуна в режимі навантаження на озонованому бензині оптимальною концентрацією озону в бензині є 0,4 г/кг, що чітко ілюструє його вплив на повноту згоряння палива (рис. 2). Так, вміст оксиду вуглецю (II) у відпрацьованих газах за такої дози озону в паливі знижується на 48 % , а вуглеводнів – на 56 %. За тих же умов на 17 % знижується вміст оксидів азоту у відпрацьованих газах.

Таблиця 2 – Результати роботи стендового ДВЗ на озонованому бензині в режимі навантаження ($P = 15 \text{ кг}$)

Характеристика	Вміст озону, г/кг _{пал.}				
	0	0,1	0,2	0,4	0,8
Частота обертання валу двигуна, об./хв.	1600	1600	1580	1570	1600
Температура відпрацьованих газів, °C	570	564	562	559	574
Витрати повітря, кг/год.	13,73	13,73	13,73	13,73	13,73
Витрати бензину, кг/год.	1,02	0,92	0,77	0,74	0,93
Коефіцієнт надлишку повітря	0,9	1,0	1,19	1,24	0,99
Вміст оксиду вуглецю (II), % об.	4,2	3,15	2,52	2,2	3,9
Вміст оксиду азоту, мг/м ³	100	90	85	83	100
Вміст вуглеводнів, мг/м ³	300	200	150	130	280

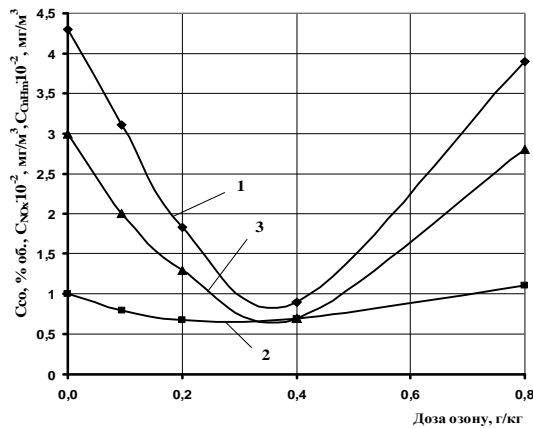


Рисунок 3 – Залежності зміни вмісту токсичних сполук у відпрацьованих газах двигуна стендової установки в режимі навантаження $P = 15 \text{ кг}$ ($\alpha = 0,9-0,93$, $n = 1600 \text{ об./хв.}$) при роботі двигуна на озонованому бензині: 1 – вміст CO ; 2 – вміст NO_x ; 3 – вміст C_nH_m

Процес озонування палива призводить до хімічного зв'язування кисню з вуглеводнями, що змінює склад горючої суміші. Відомо, що кожний відсоток хімічно зв'язаного кисню, що міститься в горючій масі, знижує теплоту її згоряння на 109 кДж/кг [18].

Цим можна пояснити експериментально отримане зниження температури горіння озонованого палива при дозі 0,2 та 0,4 г/кг на 9 та 11 °C відповідно (рис. 3).

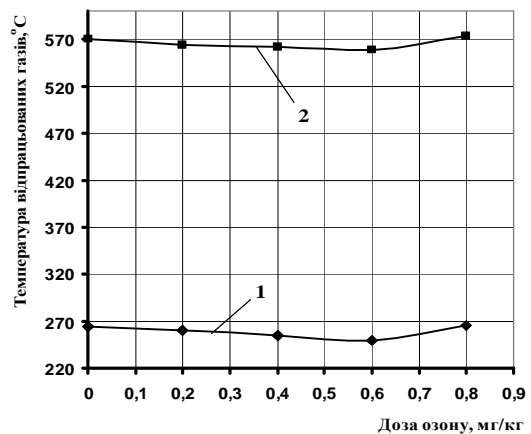


Рисунок 4 – Залежність зміни температура відпрацьованих газів ДВЗ стендової установки від дози озону в паливі: 1 – робота двигуна на озонованому бензині в режимі холостого ходу; 2 – робота двигуна на озонованому бензині в режимі навантажень **ВИСНОВКИ**. За результатами проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

– озонування палива перед подачею його на спалювання в двигуні призводить до зниження вмісту у відпрацьованих газах таких токсичних сполук, як оксид вуглецю (II), вуглеводні палива та оксиди азоту;

– взаємодія озону з вуглеводнями палива під час озонування призводить до утворення вуглеводневих сполук, що містять хімічно зв'язаний кисень. Дані сполуки в циліндрах двигуна розкладаються з утворенням кисеньвмісних радикалів, що, в свою чергу, ініціює ланцюгові реакції горіння вуглеводнів, тим самим підвищуючи повноту згорання палива;

– у ході експериментів визначено оптимальну концентрацію озону в паливі (0,4 г/кг) для різних режимів роботи двигуна стендової установки;

– насичення палива озоном перед його подачею в двигун можна віднести до способів попередження утворення токсичних сполук у відпрацьованих газах ще на стадії утворення паливо-повітряних сумішей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А.Г. та ін. Екологія та автомобільний транспорт. – К.: Арістей, 2006. – 292 с.
2. Якубовский Ю. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды / Пер. с пол. – М.: Транспорт, 1979. – 198 с.
3. Лернер М.О., Хасина А.Я., Гончаров В.В. и др. Влияние группового состава топлива и антидетонаторов на концентрацию окиси углерода и бенз/а/пирена в отработавших газах ДВС. Т. 2 // Защита воздушного бассейна от загрязнения токсичными выбросами транспортных средств. – 1977. – В 2 т. – X. – С. 78–92.
4. Зельдович Я. Б., Садовников П.Я., Франк-Каменецкий Д.А. Окисление азота при горении. – М.–Л.: Изд. АН СССР, 1947. – 148 с.

OZONE EFFECTING ON THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF COMBUSTION ENGINE

A. Gromyko, H. Stolyarenko

Cherkassy State Technological University

blv. Shevchenko, 460, 18006, Cherkassy, Ukraine, E-mail: and-gromyko@yandex.ru

The results of studies of ozonized gasoline combustion at bench-scale unit of internal-combustion carburetor engine are shown and the experimental technique is described. The environmental performance of combustion engine for its different operation modes is investigated. It is proved that ozon fuel-additive improves the combustion efficiency of fuel-air mixtures and degrades the rate of such emissions toxic components as carbonic oxide (II), fuel hydrocarbons, and nitrogen oxides. Based on the experimental results the optimal condition for fuel ozonation and ozon optimal rate for the improvement of environmental performance of combustion engine are offered.

Key words: engine, ozonized gasoline, emissions, environmental indicators.

REFERENCES

1. *Ecology and road transport* / Gutarevych Y., Zerkalova D., Hovorun A. and others. – K.: Aristej, 2006. – 292 p. [in Ukrainian]
2. Yakubovskyy Y. *Automobile transport and environment protection* / Per. s Polish. – M.: Transport, 1979. – 198 p. [in Russian]
3. Lerner M., Hasyna A., Goncharov V. et all. Effect group composition of fuel and antiknocks by concentration of carbon oxides and benz/a/petrolpirene of spent gases in the engine // *Protect the air from*

- pollution of toxic emissions by vehicles.* – 1977. – Vol. 2. – X. – PP. 78–92. [in Russian]
4. Zeldovich Y., Sadovnikova P., Frank-Kamenetsky D. *Nitrogen oxidation in burning.* – Leningrad: Books & Magazines. Academy of Sciences USSR, 1947. – 148 p. [in Russian]

Стаття надійшла 11.06.2012.

Рекомендовано до друку
к.х.н., доц. Козловською Т.Ф.