

УДК 621.43.068.4

В.О. ХИЖНЯК, І.В. ПАРСАДАНОВ**АНАЛІЗ НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ ДВЗ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ВНУТРІШНЬОЦИЛІНДРОВОГО КАТАЛІЗУ**

Розглянуті основні напрямки підвищення рівня екологічності сучасних двигунів внутрішнього згоряння, найбільш оптимальним та пріоритетним з яких є внутрішньоциліндровий каталіз. Проаналізовані результати досліджень впливу нанесених каталітичних покриттів в камері згоряння на ефективність підвищення рівнів екологічності ДВЗ. Особлива увага приділяється пошуку оптимального хімічного складу для матеріалу каталітичного покриття, що за своїми властивостями схожий на групу благородних металів.

Ключові слова: екологічність дизеля; токсичність відпрацьованих газів; каталітичне покриття; внутрішньоциліндровий каталіз

Вступ

Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) належать до основних джерел виробництва енергії. Широкого розповсюдження на різноманітних енергетичних установках, зокрема на транспорті, сільському господарстві, військовій техніці тощо отримали дизелі. Ці двигуни на відміну від бензинового двигуна є більш економічними та мають кращі екологічні показники.

Тенденція щорічного зростання кількості ДВЗ є передумовою щодо збільшення викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами (ВГ), які в свою чергу ставлять під загрозу здоров'я людини, так і наносять шкоду навколишньому середовищу. Основні вимоги, що висувають до ДВЗ пов'язані в першу чергу з обмеженням експлуатаційної витрати палива та зниженням рівня емісії токсичних компонентів у ВГ. Саме тому виникає потреба в пошуку заходів для підвищення рівня екологічності існуючих конструкцій ДВЗ.

Досягнення високих показників економічності, екологічності ДВЗ та відповідність нормам європейського рівня є пріоритетними задачами, які стоять перед двигунобудівниками та науковцями. Вдосконалення екологічних показників ДВЗ забезпечується шляхом внесення змін в конструкції та регулювання двигунів, впровадження ефективних засобів нейтралізації та очистки ВГ від токсичних речовин, зміння характеристик традиційних палив і впровадження альтернативних палив, а також застосування внутрішньоциліндрового каталізу.

Метою даної роботи є аналіз та обґрунтування основних напрямків щодо підвищення рівня екологічності ДВЗ, шляхом застосування внутрішньоциліндрового каталізу.

На початковому етапі дослідження, здійснюються пошуки та аналіз перспективних методів, які у своєму комплексі взаємодії сприятимуть підвищенню показників економічності та екологічності ДВЗ [1].

Основними технічними рішеннями, які спрямовані на зменшення шкідливих речовин у ВГ дизелів є [2]:

- вдосконалення процесів сумішеутворення та згоряння;
- оптимізація конструкції та технології виготовлення деталей та вузлів ДВЗ;
- розробка додаткових методів та пристроїв, що знижують токсичність ВГ;

- поліпшення умов експлуатації, своєчасне та якісне технічне обслуговування силових енергетичних установок з ДВЗ;

- використання альтернативних палив, добавок та присадок до них;

- рециркуляція відпрацьованих газів та застосування протисажевих фільтрів;

- впровадження електронних систем керування паливоподачею та вибір кута випередження впорскування палива;

- додавання води в циліндри тощо.

Втілення зазначених технічних рішень, які сприяють зменшенню викидів шкідливих речовин ВГ ДВЗ, потребують внесення суттєвих змін у конструкцію, що в свою чергу зумовлює ускладнення та підвищення вартості двигуна.

Одним з перспективних напрямків по підвищенню показників екологічності ДВЗ є впровадження *внутрішньоциліндрового каталізу*. Внутрішньоциліндровий каталіз дозволяє підвищити швидкість протікання окислювально-відновлювальних реакцій під дією каталітичного шару покриття, яке наноситься на поверхню камери згоряння (КЗ) поршня [3].

При каталітичному згорянні окиснення палива відбувається на поверхні твердого каталізатора при температурах – 650-1200 К. В якості матеріалу для каталітичних покриттів можуть застосовуватися групи благородних металів (Ag, Au, Pd, Pt, Ru, Os тощо), перехідні метали (Cu, Mn, Mo, Co, Fe та інші) та їх оксиди.

Результати досліджень каталітичного покриття на основі матеріалів платинової групи, що представлені у багатьох іноземних та вітчизняних виданнях, носять дещо суперечливий характер.

Разом з тим, в роботі [4] проводилися дослідження нанесеного платинового покриття на поверхні поршня. За результатами досліджень було встановлено, що час займання було дещо зменшено до ВМТ (рис. 1), емісія викидів вуглеводнів зменшилась на 5 %, викиди оксиду вуглецю – 10 %, проте концентрація у ВГ оксидів азоту збільшилася на 10 % (рис. 2), повнота згоряння зросла.

В іншій роботі [5] проводилися дослідження одноциліндрового дизеля з нанесеним платиновим покриттям на поверхні камери згоряння. Представлені результати свідчать про деякі зміни викидів твердих частинок (рис. 3). Поряд з цим при низьких

навантаженнях відбувається збільшення емісії вуглеводнів (рис. 4), однак зі зростанням навантаження, відбувається поступове зниження вмісту вуглеводнів. Відповідна тенденція простежується у викидах оксиду вуглецю (рис. 5). Викиди оксидів азоту (рис. 6) зменшуються на всіх режимах роботи дизеля, і сумарні показники викидів є порівняно нижчими ніж у звичайного дизеля без нанесеного покриття на поверхні камери згоряння.

$T_{ц}, K$

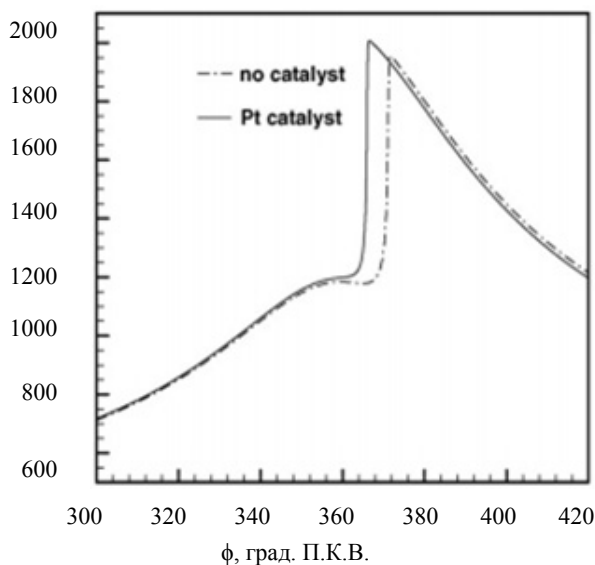


Рис. 1. Ефективність каталітичного згоряння від вибору часу займання дизеля

$\bar{K}_{шп}$

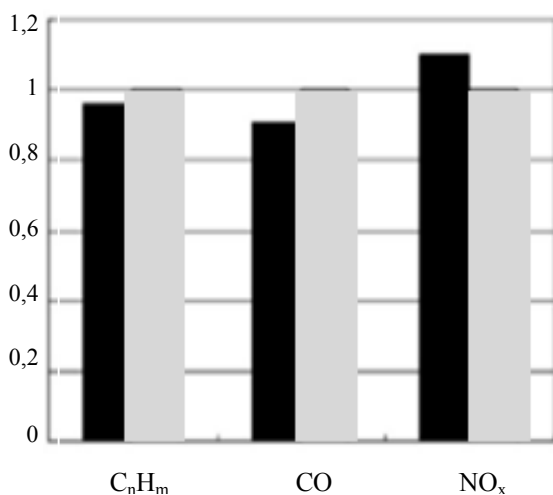


Рис. 2. Відносна зміна емісії вуглеводнів, оксиду вуглецю, оксидів азоту:

■ - поршень з платиновим (Pt) каталітичним покриттям;
 ■ - поршень без каталітичного покриття

Варто також відзначити, що головним недоліком каталітичних покриттів на основі благородних металів є їх висока вартість, яка пов'язана з їх обмеженими світовими запасами.

Саме тому постійно проводяться пошуки матеріалів, що будуть схожими за їх властивостями. В якості таких матеріалів знаходять застосування

оксиди перехідних металів (Fe, Co, Mn тощо), у тому числі шпінелі, перовскіти, гексаалюмінати тощо [6].

$K_{тц}, г/кг_{вг}$

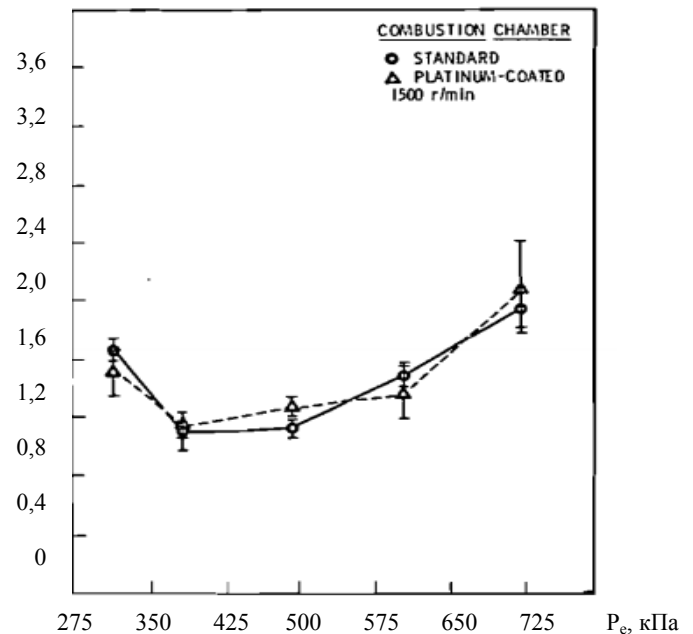


Рис. 3. Результати рівнів емісії твердих частинок у ВГ дизеля

$K_{сн}, г/кг_{вг}$

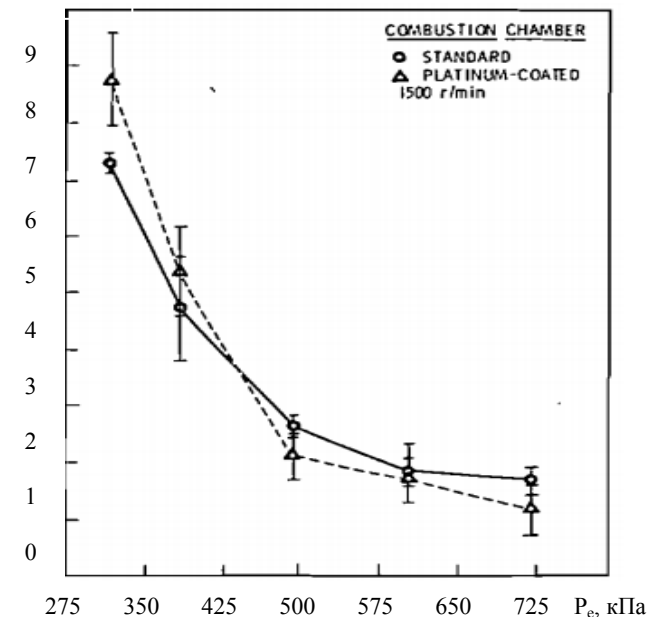


Рис. 4. Результати рівнів емісії вуглеводнів у ВГ дизеля

Так, наприклад, в роботі [7] були проведені дослідження на шестициліндровому дизелі з турбонаддувом, поршні цього двигуна були покриті каталітичним покриттям на основі $MgZrO_3$, а головки циліндрів і клапанів покривалися матеріалом на основі $CaZrO_3$. Результати досліджень показали, що скорочення витрати палива на 1-2 % було досягнуто за рахунок вибору оптимального часу впорскування палива та теплоізоляційного покриття. Емісія твердих

частинок (ТЧ) скоротилася близько 40 %, скорочення викидів оксидів азоту (NO_x) на 10 %.

K_{CO} , г/кгВГ

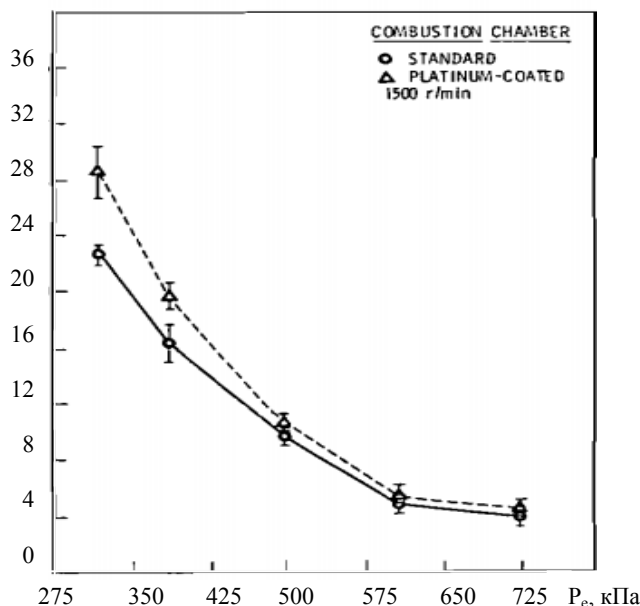


Рис. 5. Результати рівнів емісії оксиду вуглецю у ВГ дизеля

K_{NO_x} , г/кгВГ

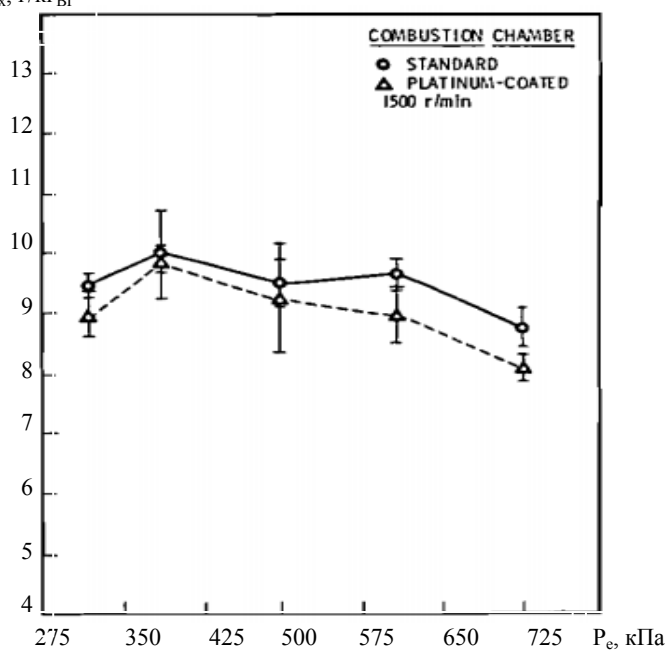


Рис. 6. Результати рівнів емісії оксидів азоту у ВГ дизеля

Автори роботи [8] проводили дослідження впливу каталітичного двохшарового покриття поверхні камери згоряння: 0,15 мм NiCrAl та 0,35 мм $\text{Y}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$ на роботу дизеля з газотурбінним наддувом. Позитивні результати були отримані для варіантів каталітичного покриття № 1 (покриття головки циліндрів та клапанів) та № 2 (покриття головки циліндрів, поршневого донця та клапанів), а саме потужність двигуна з покриттями було збільшено на 2 %, ефективна питома витрата палива зменшено на 4,5-9 %. Емісія оксидів азоту зросла близько на 10 %, однак знизилась димність відпрацьованих газів

приблизно на 18 %. Викиди оксидів вуглецю для двох варіантів покриттів зменшилися на 9 % у діапазоні частоти обертання колінчастого валу між 1100 та 2000 хв^{-1} . Результати досліджень приведені на рис. 7 та 8.

K , м^{-1}

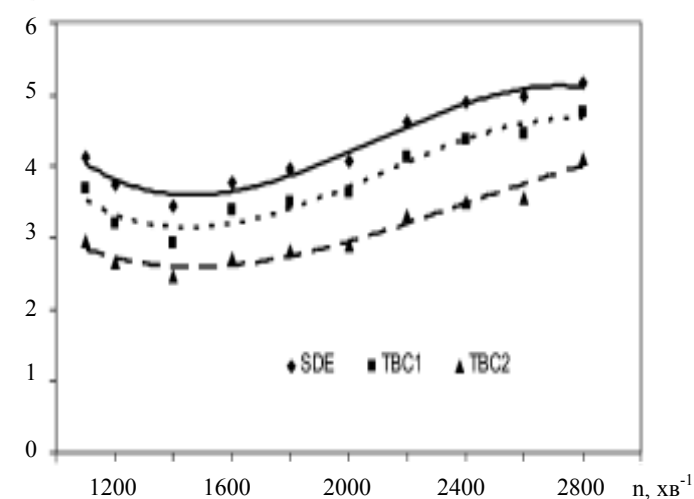


Рис. 7. Графік димності ВГ дизеля:
 SDE – базовий дизель; TBC₁ – дизель з каталітичним покриттям головки циліндрів та клапанів;
 TBC₂ – дизель з каталітичним покриттям головки циліндрів, поршневого донця та клапанів

CO , млн^{-1}

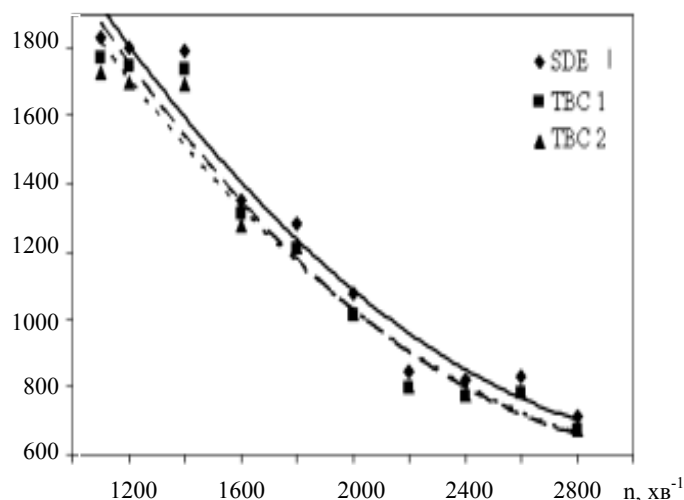


Рис. 8. Графік рівнів емісії оксидів вуглецю з ВГ дизеля:
 SDE – базовий дизель; TBC₁ – дизель з каталітичним покриттям головки циліндрів та клапанів;
 TBC₂ – дизель з каталітичним покриттям головки циліндрів, поршневого донця та клапанів

Вибір покриття з ZrO_2 та MoSi_2 , які наносилися на внутрішні поверхні камери згоряння та виступи, товщиною 0,15-0,2 мм [9], базувався на високій ефективності MoSi_2 як каталізатора дегідрування вуглеводнів в умовах КЗ при температурі вище 570 К. Результати досліджень показали, що майже в діапазоні всіх навантажень спостерігалось зниження викидів вуглеводнів (CH), оксиду вуглецю (CO), оксидів азоту NO_x та димності ВГ. Поряд з цим

відмічається, що на режимі номінального навантаження зменшується питома витрата палива на 2,1 % при одночасному зменшенні викидів NO_x на 56 %, що автори пояснюють відновленням NO воднем, який утворився в результаті реакції дегідрування.

Властивості нанесених каталітичних покриттів на основі оксидів перехідних металів на поверхні камери згоряння дослідженні на кафедрі фізичної хімії НТУ «ХПІ». Результати досліджень показують, що отримані покриття володіють міцним зчепленням з основним матеріалом і не потребують додаткової обробки. Також відзначається, що каталітична активність цих покриттів є близькою до металів платинової групи [6]. В зв'язку з цією особливістю робиться висновок про те, що температура процесу запалення знизиться і відповідно, зменшаться викиди оксидів азоту з ВГ ДВЗ.

Проведений огляд результатів досліджень дає змогу зробити припущення, що застосування на поверхні камери згоряння каталітичних покриттів на основі оксидів перехідних металів дозволяє підвищити та керувати швидкістю протікання процесу згоряння палива в камері згоряння, тим самим досягаючи ефекту зниження утворення шкідливих речовин з ВГ дизеля. Для досягнення цього ефекту виникає необхідність у розробці ефективного каталітичного покриття на основі оксидів перехідних металів, шляхом мікроплазмового оксидування, проведенні комплексу експериментальних досліджень з метою оцінювання рівня викиду з ВГ двигуна токсичних компонентів.

Висновок

Аналіз напрямків підвищення рівня екологічності сучасних ДВЗ показав, що актуальним та перспективним напрямком є внутрішньоциліндровий каталіз.

Використання каталітичних покриттів на поверхні КЗ дозволяє зменшити викиди оксиду вуглецю, вуглеводнів та утворення твердих частинок, але неоднозначно впливає на зниження емісії оксидів азоту.

Список літератури: 1. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т.5. Екологізація ДВЗ / А. П. Марченко, І. В.

Парсаданов, Л. Л. Товажнянський [та ін.] ; за ред. А.П. Марченка, А. Ф. Шеховцова – Х. : Прапор, 2004. – 360 с. 2. Горбунов В.В. Токсичность двигателей внутреннего сгорания: Учеб. пособие. / В.В. Горбунов, Н.Н. Патрахальцев. – М.: Изд-во РУДН, 1998. – 214 с., ил. 3. Власенко В. М. Экологический катализ [Текст] : монография / В. М. Власенко. - К. : Наук. думка, 2010. - 238 с. 4. Zeng W. Numerical investigation on the application of catalytic combustion to HCCI engines / Wen Zeng, Maozhao Xie, Ming Jia // Chemical Engineering Journal – 2007 – № 127 – p. 81-93. 5. Siegl D.C. Heterogeneous catalysis in the Diesel Combustion Chamber / Donald C. Siegl, Steven L. Plee // Combustion Science and Technology – 1992 – № 27 – p. 99-102. 6. Формирование каталитически активных покрытий на рабочих поверхностях камер сгорания ДВС [Текст] / М.В. Ведь, Н.Д. Сахненко, Д.С. Андросчук [и др.] // Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. – № 2. – с. 73-76. 7. Büyükkaya E. Effects of thermal barrier coating on gas emissions and performance of a LHR engine with different injection timings and valve adjustments / Ekrem Büyükkaya, Tahsin Engin, Muhammet Cerit // Energy Conversion and Management – 2006 – № 47 – p. 1298-1310. 8. Cinviz M. Impact of thermal barrier coating application on the performance and emissions of a turbocharged diesel engine / M. Cinviz, C. Hasimoglu, F. Sahin, [et. al.] // Automobile engineering – 2008 – № 222 – p. 2447-2455. 9. Теплоизоляционное и каталитическое воздействие керамических материалов на рабочий процесс дизеля [Текст] / И.П. Васильев, В.А. Звонов, П.Н. Гавриленко, [и др.] // Двигателестроение. – 1990. – № 9/141. – с. 3-5.

Bibliography (transliterated):

1. Dvyhuny vnutrishnoho zghoriannia: Seriya pidruchnykiv u 6 tomakh. T.5. Ekologizatsiia DVZ / A. P. Marchenko, I. V. Parsadanov, L. L. Tovazhnianskiy, [ta in.]; za red. A.P. Marchenka, A.F. Shekhovtsova – Kharkiv: Prapor, 2004. – 360 p. 2. Gorbunov V.V. Toksichnost dvigateley vnutrennego sgoraniya: Ucheb. posobie. / V.V. Gorbunov, N.N. Patrahaltsev. – Moscow: Izd-vo RUDN, 1998. – 214 p., il. 3. Vlasenko V. M. Ekologicheskii kataliz [Tekst] : monografiya / V. M. Vlasenko. - Kiev : Nauk. dumka, 2010. - 238 p. 4. Zeng W. Numerical investigation on the application of catalytic combustion to HCCI engines / Wen Zeng, Maozhao Xie, Ming Jia // Chemical Engineering Journal – 2007 – No 127 – p. 81-93. 5. Siegl D.C. Heterogeneous catalysis in the Diesel Combustion Chamber / Donald C. Siegl, Steven L. Plee // Combustion Science and Technology – 1992 – No 27 – p. 99-102. 6. Formirovanie kataliticheski aktivnykh pokrytiy na rabochnykh poverhnostyakh kamer sgoraniya DVS [Tekst] / M.V. Ved, N.D. Sahnenko, D.S. Androschuk, [i dr.] // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 2014. – No 2. – p. 73-76. 7. Büyükkaya E. Effects of thermal barrier coating on gas emissions and performance of a LHR engine with different injection timings and valve adjustments / Ekrem Büyükkaya, Tahsin Engin, Muhammet Cerit // Energy Conversion and Management – 2006 – No 47 – p. 1298-1310. 8. Cinviz M. Impact of thermal barrier coating application on the performance and emissions of a turbocharged diesel engine / M. Cinviz, C. Hasimoglu, F. Sahin, [et. al.] // Automobile engineering – 2008 – No 222 – p. 2447-2455. 9. Teploizolyatsionnoe i kataliticheskoe vozdeystvie keramicheskikh materialov na rabochiy protsess dizelya [Tekst] / I.P. Vasilev, V.A. Zvonov, P.N. Gavrilenko, [i dr.] // Dvigatelistroenie. – 1990. – No 9/141. – p. 3-5.

Надійшла (received) 3.07.2015

Відомості про авторів

Хижняк Володимир Олександрович – аспірант, кафедра двигуни внутрішнього згоряння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: Leo_18@ukr.net

Парсаданов Ігор Володимирович – доктор техн. наук, професор, заст. зав. кафедрою двигуни внутрішнього згоряння з наукової роботи Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: parsadanov@kpi.kharkov.ua