

ДВИГУНИ І ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ

УДК 621.432.3

И. В. РЫКОВА, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. НТУ «ХПИ»

ПУТИ ЭКОЛОГИЗАЦИИ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ДВС

Рассмотрены основные направления повышения эффективности экологизации рабочего цикла ДВС и выявлен наиболее перспективный из них – внутрицилиндровый катализ. Проанализировано влияние каталитических покрытий в камере сгорания на уровень экологических показателей ДВС, обоснованы направления и задачи, которые необходимо решить для комплексного улучшения этих показателей.

Ключевые слова: экологизация рабочего цикла, внутрицилиндровый катализ, каталитические покрытия, токсичность отработавших газов

Увеличение потребности человечества в механической энергии вызывает рост производства ДВС. Такая тенденция усложняет решение проблем сохранения природных ресурсов и окружающей среды и требует принятия решений по повышению уровня экологизации современных двигателей.

Под экологизацией рабочего цикла ДВС следует понимать реализацию мероприятий, направленных в первую очередь на снижение токсичности отработавших газов и топливной экономичности путем непосредственного воздействия на рабочий процесс. Эти мероприятия, по возможности, не должны существенно усложнять конструкцию двигателя и увеличивать его стоимость. Эффективность экологизации ДВС оценивается выполнением норм на уровень токсичных веществ в отработавших газах, а также расходом топлива и затратами на обслуживание двигателя в эксплуатации. К нормируемым токсичным веществам отработавших газов (ОГ) ДВС относятся монооксид углерода (СО), суммарные несгоревшие углеводороды (C_nH_m), оксиды азота (NO_x) и твердые частицы. Выбросы этих вредных веществ должны удовлетворять сегодня в Украине нормам «Евро-3» для автомобильных двигателей и «StageII» для двигателей внедорожных машин. Выполнение указанных норм на токсичность обеспечивается изменением конструкции элементов, систем и регулировок двигателя, нейтрализацией ОГ, применением внутрицилиндрового катализа.

Целью данной работы является анализ и систематизация направлений экологизации рабочего цикла ДВС, связанных с применением внутрицилиндрового катализа, обоснование наиболее рациональных путей снижения токсичности отработавших газов.

В настоящее время ведутся интенсивные исследования по разработке и практической реализации следующих направлений повышения эффективности экологизации рабочего цикла [1,2]:

- оптимизация смесеобразования и сгорания путем расслоения заряда, непосредственного впрыскивания топлива в двигателях с искровым зажиганием, выбора камеры сгорания;
- оптимизация топливоподачи путем выбор закона топливоподачи, характеристик топливоподачи, таких как максимальное давление впрыскивания, давление начала впрыскивания, момент впрыскивания топлива;

– повышение эффективности систем газотурбинного наддува путем использованием импульсных систем наддува вместо изобарных, промежуточных охладителей наддувочного воздуха, турбокомпрессоров с изменяемой геометрией направляющих аппаратов и турбин;

– улучшение сгорания на частичных скоростных режимах и при минимальной частоте вращения холостого хода путем отключения части цилиндров;

– совершенствование переходных процессов путем использования дополнительной подачи воздуха;

– равномерное распределение топлива по цилиндрам;

– применение присадок к топливу: интенсифицирующих, повышающих метановое число дизельного топлива и антидымных, повышающих полноту сгорания топлива и уменьшающих содержание сажевых частиц и черного дыма;

– применение природного газа, альтернативных топлив растительного происхождения и водотопливных эмульсий;

– рециркуляция отработавших газов.

Перечисленные направления требуют изменения конструкции отдельных деталей, и узлов двигателей, создания дополнительных устройств, что ведет к значительному усложнению и удорожанию двигателя.

Перспективным, с точки зрения повышения эффективности экологизации ДВС, в том числе, находящихся в эксплуатации, является реализация *внутрицилиндрового катализа*. Т.е. создания условий для протекания каталитических реакций, обеспечивающих окислительные или восстановительные процессы непосредственно в камере сгорания (КС) двигателя. С этой целью на поверхность металла-носителя КС наносится каталитический слой (покрытие), который ускоряет химические реакции.

Наибольшее распространение получили покрытия, содержащие благородные металлы (Au, Ag, Pt, Pd, Rh, Ir) и переходные металлы и их оксиды (Mn, Fe, Cr, V, Mo, Co, Ce, Ni, W, Cu, Sn) [3], а также. В качестве носителя покрытия, на поверхности которых наносят катализаторы используют оксиды основных металлов (Al_2O_3 , MgO, ZrO_2 , Si_2O_4 и др.) [4]. Носитель не должен изменять каталитические свойства катализатора, иметь пористую структуру для обеспечения нанесения активного компонента в достаточном количестве и обладать высокой механической прочностью, термической и химической устойчивостью [5].

На кафедре двигателей внутреннего сгорания НТУ «ХПИ» разработана и внедрена прогрессивная технология обработки поверхности поршней с образованием корундового керамического слоя с высокой адгезией и пористостью. Корундовый слой на поверхности камеры сгорания может быть использован в качестве носителя катализатора, и использоваться непосредственно в качестве катализатора. Результаты стендовых исследований автотракторного дизеля показали, что применение корундового слоя позволяет снизить массовый выброс твердых частиц с отработавшими газами на 19-30% [6,7]. Кроме того такой слой создает эффект частичной тепловой изоляции, что способствует повышению температуры и давления в камере сгорания и соответственно влияет на эффективность работы двигателя.

Большое значение, особенно для дизелей, имеет внутрицилиндровый катализ оксидов азота (NO_x). Приведенные в литературных источниках

результаты исследований по влиянию керамических покрытий на выбросы NO_x носят противоречивый характер.

Увеличение выбросов NO_x наблюдается в 10-40% исследований [4]. Так в работе [8] был исследован дизель, у которого покрытие было нанесено на поршень, головку блока цилиндров, клапаны и гильзу цилиндров. Результаты эксперимента показали, что удельный расход топлива уменьшился на 15 %, выбросы несгоревших углеводородов (СН) – на 41 %, оксидов углерода (СО) на 40%, а выбросы NO_x увеличились на 22 %. При этом есть предложения по снижению NO_x путем уменьшения угла опережения впрыскивания топлива. Авторы работы [9] заявили, что 30% снижение NO_x может быть получено за счет предварительных регулировок. А в работе [10] при испытаниях на дизеле, у которого поршни были покрыты слоем MgZrO_3 , а головка цилиндров и клапаны – CaZrO_3 при варьировании углами начала впрыскивания, выбросы NO_x были получены ниже, чем у базового двигателя на 11 %.

Ряд исследований показал, что применение керамических покрытий уменьшает выбросы NO_x с ОГ. В работе [11] показано, что применение керамического покрытия диоксида циркония привело к росту максимального давления цикла и температуры выпускных газов дизеля, уменьшению периода задержки воспламенения и удельного эффективного расхода топлива. При этом, не смотря на увеличение температуры рабочего тела, снижается удельный выброс NO_x . Такой результат указывает на каталитическое действие покрытия в реакциях восстановления оксидов азота. Аналогичные результаты получены в работах [12, 13, 14].

Таким образом, применение оксидных керамических покрытий основных металлов может улучшить процесс сгорания за счет увеличения температуры и уменьшения задержки воспламенения, увеличить механическую энергию за счет предотвращения потерь тепла в систему охлаждения, а также уменьшить выбросы несгоревших углеводородов, оксида углерода и твердых частиц. Однако выбросы оксидов азота без дополнительных регулировок двигателя могут возрасти.

Результаты исследований по применению катализаторов платиновой группы также не однозначны. В работе [15] в результате исследований платинородиевых покрытий КС показало, что эмиссия СО и СН уменьшилась, а NO_x – увеличилась. Причем с родиевым катализатором выбросы СН были ниже, а NO_x – выше. А в работе [16] применение платинового покрытия камеры сгорания не привело к существенным изменениям в NO_x , СО, СН.

Недостатком каталитических покрытий из благородных металлов является их высокая стоимость. Поэтому находят применение переходные неблагородные металлы с сопоставимой каталитической активностью. В работе [17] были исследованы покрытия из меди, никеля и хрома, нанесенные на стенки камеры сгорания. Результаты показали, что все покрытия уменьшили расход топлива, выбросы СО, СН, а выбросы NO_x – увеличились, причем медь оказалась наиболее эффективным катализатором.

Проведенные исследования на кафедре физической химии НТУ «ХПИ» по оценке каталитических свойств покрытий сложными оксидами группы переходных металлов показали, что по каталитической активности они не уступают свойствам металлов платиновой группы, при этом температура зажигания реакции снижается, что позволяет снижать выбросы NO_x [18, 19]. Следовательно, эффективность использования каталитических покрытий

благородными и переходными металлами для снижения на выбросы вредных веществ с обработавшими газами сопоставимы.

Таким образом, полученные ранее результаты исследований дают возможность предположить, что применение оксидных керамических покрытий основных металлов и сложных оксидов переходных металлов позволяет влиять на термодинамические, физические и химические процессы, в КС ДВС, создавать условия для полного сгорания топлива и управлять скоростью реакций с целью снижения образовавшихся вредных веществ. Для получения данного эффекта необходимо разработать методы каталитических покрытий на основе наноструктурных процессов и микроплазменного оксидирования, провести комплекс исследований двигателя для определения эффективности применения разработанных покрытий с оценкой концентраций выбросов с обработавшими газами.

Выводы. Анализ и систематизация направлений экологизации рабочего цикла ДВС показал, что внутрицилиндровый катализ является перспективным направлением, направленным на снижение массового выброса токсичных компонентов обработавших газов ДВС.

Использование каталитических покрытий в камере сгорания позволяет уменьшить выбросы оксидов углерода, углеводородов, твердых частиц уменьшаются. Влияние каталитических покрытий на оксиды азота не однозначно.

Необходимо дальнейшее изучение свойств и исследование новых каталитических покрытий, позволяющих комплексно улучшить экологические показатели двигателя.

Список литературы: 1. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т.5. Екологізація ДВЗ / А. П. Марченко, І. В. Парсаданов, Л. Л. Товажнянський, А. Ф. Шеховцов; за ред. А.П. Марченка, А.Ф. Шеховцова – Х. : Прапор, 2004. – 360 с. 2. Екологія автомобільних двигунів внутрішнього згоряння: Навчальний посібник / В. О. Звонов, Л. С. Заїграв, В. І. Черних, А. В. Козлов; під ред. В. О. Звонова. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2004. – 268с. 3. Попова Н. М. Катализаторы очистки газовых выбросов промышленных производств. – М.: Химия, 1991. – 176 с. 4. *Ciniviz M., Salman M. S. Ceramic Coating Applications and Research Fields for Internal Combustion Engines // Ceramic Coatings – Applications in Engineering [Electronic resource]* – p. 195-234. – Mode of access: <http://www.intechopen.com/download/pdf/29756>. 5. Власенко В. М. Экологический катализ. – К.: Наукова думка, 2010. – 238 с. 6. Шпаковский В. В. Научно-технические основы улучшения показателей ДВС применением поршней с корундовым слоем: дис. ... доктора техн. наук : 05.05.03 / Шпаковский Владимир Васильевич. – Х., 2009. 7. Парсаданов И. В. Оценка влияния гальваноплазменного покрытия поршня автотракторного дизеля на выбросы твердых частиц с обработавшими газами / И.В. Парсаданов, А.П. Поливанчук // Двигатели внутреннего сгорания – 2009. – №2 – С. 97-100. 8. *Vijaya Kumar K. R The Effect of Thermal Barrier Coatings on Diesel Engine Performance of PZT Loaded Cyanate Modified Epoxy Coated Combustion Chamber / K.R. Vijaya Kumar, V. Sundareswaran // Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering. – 2011. – Volume 5. – N. 5. – P. 403 – 406.* 9. *Afify E. M. The Effect Of Selective Insulation On The Performance, Combustion, And NO Emissions Of A DI Diesel Engine / E. M. Afify, D. E. Klett, International & Congress and Exposition, February 26-29 (1996).* – Detroit, Michigan. – 1996. 10. *Büyükkaya E. Effects of thermal barrier coating on gas emissions and performance of a LHR engine with different injection timings and valve adjustments / E. Büyükkaya, T. Engin, M. Cerit // Energy Conversion and Management. – June 2006. – Volume 47, Issues 9–10. – P. 1298–1310.* 11. *Сибриков Д. А. Снижение теплонпряженности поршневых групп судовых дизелей: автореф. дис. науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.08.05 «Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)» / Д. А. Сибриков. Новосибирск. – 2004. – 20с.* 12. *Velliangiri M. An Experimental Investigation of Performance and Emission in Ethanol Fuelled Direct Injection Internal Combustion Engines with Zirconia Coating / M. Velliangiri and A. S. Krishnan*

// Journal of Energy Technologies and Policy. – 2012. – Vol.2, No.2. – P. 42-53. **13.** Lawrence P. Experimental investigation on Zirconia coated high compression spark ignition engine with ethanol as fuel / P. Lawrence, P. Koshy Mathews, B. Deepanraj // Journal of Scientific&Industrial Research – September 2011. – Vol. 70. – P. 789-794. **14.** Sathiyagnanam A. P. Effect of Thermal-Barrier Coating plus Fuel Additive for Reducing Emission from Di Diesel Engine / A. P. Sathiyagnanam, C. G. Saravanan and S. Dhandapani, Proceedings of the World Congress on Engineering. – 2010. – June 30 - July 2, 2010, London, U.K. – 2010. **15.** Wen Zeng Multi-dimensional Modeling of the Application of Catalytic Combustion to Homogeneous Charge Compression Ignition Engine / Wen Zeng, MaoZhao Xie // Journal of Thermal Science. – 2006. –Vol.15, No.4. P. 371–376. **16.** Siegla Donald C. Heterogeneous Catalysis in the Diesel Combustion Chamber / Donald C. Siegla, Steven L Plee // Combustion Science and Technology. – 1982. – Volume 27, Issue 3-4. – p. 97-102. **17.** Ponnusamy P. Experimental Investigation on Performance, Emission and Combustion Analysis of a Four Stroke SI Engine with Various Catalytic Coatings / P. Ponnusamy, R. Subramanian, N. Nedunchezian // European Journal of Scientific Research. – 2011. – Vol.63 No.2. – P.182-191. **18.** Ве́дь М. В. Каталитическая активность покрытий на основе переходных металлов / М. В. Ве́дь, Н. Д. Сахненко, М. А. Глушкова, М.Б. Майба, А. В. Дементий // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2012. – №3.– С.38-43. **19.** Глушкова М. А. Формирование на основе переходных металлов для экотехнологий / М. А.Глушкова, Майба М. В., Ве́дь М. В., Сахненко Н. Д., Зюбанова С. И. // Інтегровані технології промисловості. – 2012. – №3. – С. 104-106.

Поступила в редколлегию 24.04.2013

УДК 534.1

Пути экологизации рабочего цикла ДВС / И. В. Рыкова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 31 (1004). – С. 111–115. – Бібліогр.: 19 назв.

Розглянуті основні напрямки підвищення ефективності екологізації робочого циклу ДВЗ і виявлений найбільш перспективний з них – внутрішньоциліндровий каталіз. Проаналізований вплив каталітичних покриттів у камері згоряння на рівень екологічних показників ДВЗ, обґрунтовані напрямки і завдання, які необхідно розв'язати для комплексного поліпшення цих показників.

Ключові слова: екологізація робочого циклу, внутрішньоциліндровий каталіз, каталітичні покриття, токсичність відпрацьованих газів.

The main directions in increasing the environmental efficiency of working cycle in ICE are considered. The most promising direction is in-cylinder catalysis. The influence of the catalytic coating in the combustion chamber of ICE on the level of environmental performance of engine is analyzed. The major directions and tasks that need to be solved for the overall improvement of these indicators are proved.

Key words: environmental efficiency, in-cylinder catalysis, catalytic coatings, exhausts gases emissions.