

## ОСОБЕННОСТИ ВНУТРИЦИЛИНДРОВОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАТАЛИЗА В ДВС

*Проанализированы результаты проведенных работ, предложена последовательность проведения исследований каталитических процессов в цилиндре двигателя и разработки технических решений с применением нетрадиционных материалов и перспективных технологий для реализации внутрицилиндрового экологического катализа.*

### Постановка проблемы, анализ проведенных исследований

Показатели качества современных ДВС обеспечиваются интеграцией и высоким уровнем надежности механических, термодинамических, гидравлических, газодинамических, физических, химических и электрических процессов, что позволяет в определенной степени решать глобальную проблему сохранения окружающей среды при постоянно возрастающей потребности человечества в механической энергии.

Дальнейшее снижение отрицательного воздействия на окружающую среду и улучшение экологических показателей ДВС требует принятия новых технических решений, применения нетрадиционных материалов и перспективных технологий.

Достигнутый уровень экологических показателей ДВС обеспечен в результате многочисленных исследований, доводочных работ и практической реализации технических решений по выбору оптимальной формы камеры сгорания, аэродинамических характеристик воздушного заряда и характеристик топливоподачи. Наряду с повышением эффективности систем газотурбинного наддува и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха, уточнением значений степени сжатия и фаз газораспределения современные автомобильные ДВС при увеличении литровой мощности обеспечивают уровень экологических показателей, соответствующий нормам ЕВРО-3.

Последующее совершенствование экологических показателей ДВС требует применения средств нейтрализации и очистки, рециркуляции отработавших газов, изменения характеристик топлив. Эти технические решения активно внедряются, несмотря на усложнение конструкции и увеличение стоимости производства и эксплуатации двигателя.

Перспективной, с точки зрения улучшения экологических показателей ДВС, является реализация возможностей *внутрицилиндрового экологического катализа*. Внутрицилиндровый экологический катализ в ДВС предполагает увеличение скорости окислительных и восстановительных реакций под воздействием каталитического слоя (покрытия), который наносится непосредственно на

поверхность металла-носителя камеры сгорания (КС). В результате каталитических процессов на такте расширения происходит преобразование продуктов неполного сгорания топлива ( $\text{CO}$ ,  $\text{C}_n\text{H}_m$ ,  $\text{C}$ ) в безвредные вещества и восстановление оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) до  $\text{N}_2$  и, соответственно, снижение выбросов в окружающую среду токсичных компонентов.

Подробный анализ выполненных исследований по внутрицилиндровому экологическому катализу в ДВС приведен в работе [1]. Приведенные в данной работе сведения указывают на противоречивый характер влияния выбранных покрытий на выбросы  $\text{NO}_x$  и продукты неполного сгорания топлива ( $\text{CO}$ ,  $\text{C}_n\text{H}_m$ ,  $\text{C}$ ). Для получения комплексного эффекта (снижение всех видов токсичных веществ) необходимы изменения в регулировках двигателя.

Например, 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. При этом, не смотря на увеличение температуры рабочего тела, снижается удельный выброс  $\text{NO}_x$ . [2].

Результаты исследований по применению катализаторов платиновой группы также не однозначны. К тому же недостатком каталитических покрытий из благородных металлов является их высокая стоимость. Поэтому необходимо находить возможность применения переходных неблагородных металлов с сопоставимой каталитической активностью. В работе [3] были исследованы покрытия из меди, никеля и хрома, нанесенные на стенки камеры сгорания. Результаты показали, что все покрытия уменьшили расход топлива, выбросы  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$ , а выбросы  $\text{NO}_x$  – увеличились, причем медь оказалась наиболее эффективным катализатором.

Выполненные ранее исследования, в том числе в Национальном техническом университете «ХПИ», дают основание предположить, что применение покрытий на поверхности поршней позволя-

ет влиять на термодинамические, физические и химические процессы в камере сгорания ДВС, создавая условия для снижения выбросов с ОГ токсичных веществ неполного сгорания топлива.

В целом, обзор литературных источников показал, что, несмотря на большое количество трудов по катализу, направление, связанное с внутрицилиндровым катализом ДВС, мало исследовано. Практически отсутствуют работы, в которых результаты экспериментов, проведенных на двигателях с различными видами катализаторов, сочетаются с систематизацией и детальным теоретическим анализом.

**Целью** данной работы является систематизация направлений исследований ДВС, направленных на выявление возможности снижения загрязнения окружающей среды отработавшими газами применением внутрицилиндрового экологического катализа.

#### **Основной материал статьи**

В каталитических нейтрализаторах, которые применяются для очистки продуктов сгорания от токсичных веществ в выпускных системах ДВС, наибольшее распространение получили покрытия, содержащие благородные металлы (Au, Ag, Pt, Pd, Rh, Ir, Ru), а также переходные металлы (Mn, Fe, Cr, V, Mo, Co, Ce, Ni, W, Cu, Sn) и их оксиды [4].

Наиболее эффективными являются покрытия на основе благородных металлов – платины (Pt) и палладия (Pd). Платина является универсальным катализатором, обеспечивающим быстрое протекание реакций окисления и восстановления. Палладий, как правило, используют для ускорения окислительных реакций. Для интенсификации восстановительных реакций применяют радий (Ra), рутений (Ru), оксиды меди, железа, марганца, ванадия, хрома и др. Катализирующая эффективность остальных металлов ниже.

Каталитическое покрытие наносят на поверхность носителя или насыщают его. В качестве носителя покрытия используют оксиды основных металлов ( $Al_2O_3$ , MgO,  $ZrO_2$ ,  $Si_2O_4$  и др.) [5]. 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 [6].

В основу изучения внутрицилиндрового экологического катализа должны быть положены сведения о физических и термодинамических процессах, кинетике и механизмах реакций сгорания с учетом закономерностей и особенностей гетерогенного катализа в КС ДВС.

Гетерогенный катализ на поверхности КС во многом связан с физическими явлениями распределения топлива в КС, его испарениями, подводом продуктов сгорания к каталитической поверхности. К физическим явлениям следует отнести также теплообмен между поверхностью катализатора и газовым потоком.

Сведения о кинетике и механизмах реакций сгорания позволяет исследовать особенности химического взаимодействия реагентов с поверхностью катализатора. На химической стадии сначала происходит физическая адсорбция реагентов, затем превращение ее в химическую форму адсорбции, взаимодействие реагентов с образованием промежуточных поверхностных комплексов, превращение этих комплексов в конечные продукты и десорбция их в газовый объем [6]. Особенности химической стадии в значительной мере определяются малыми концентрациями токсичных веществ, высокими и изменяющимися значениями температур и давлений газа в цилиндре.

Реализация внутрицилиндрового экологического катализа связана с дополнительными трудностями из-за крайне малого времени, отводимого на протекание каталитического процесса, и обеспечения его химической стабильности в течение продолжительного периода эксплуатации.

Учитывая, что скорость подвода реагирующих веществ к поверхности катализатора, а, следовательно, и скорость реакций пропорциональны величине внешней поверхности и линейной скорости газового потока, целесообразно проводить такие процессы при больших линейных скоростях с использованием пористых катализаторов.

На кафедре двигателей внутреннего сгорания НТУ «ХПИ» разработана 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% [7,8]. Эффект снижения массового выброса твердых частиц может быть объяснен физической адсорбционной очисткой газов при селективном поглощении частиц сажи пористой поверхностью и ее выгоранием в следующем цикле.

Кроме того, керамический слой создает эффект частичной тепловой изоляции, что способствует повышению температуры и давления в камере

сгорания и, соответственно, влияет на условия более полного выгорания топлива.

Качество катализаторов оценивается, главным образом, по производительности объема контакта и его избирательностью. Катализатор должен обладать достаточной прочностью, термической и химической устойчивостью, что определяет продолжительность цикла каталитического воздействия. Стоимость катализаторов должна быть невысокой.

Работы по созданию катализатора должны начинаться с подбора каталитически активных веществ. Как уже указывалось, во многих каталитических процессах наряду с металлами платиновой группы высокоактивными являются оксиды кобальта, марганца, меди. Хотя оксид кобальта более активен, но и более дорог. Активность оксидно-марганцевых контактов в процессах окислительно-катализа во многих случаях значительно повышается при введении промоторов-металлов платиновой группы.

Исследования, проведенные на кафедре физической химии НГУ «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  $\text{NO}_x$  [10, 11]. Следовательно, эффективность использования каталитических покрытий благородными и переходными металлами для снижения на выбросы вредных веществ с отработавшими газами сопоставимы.

Основой для приготовления катализатора может служить пористый носитель АПК, который представляет собой  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  с зерном. Это механически прочный и термически стойкий контакт. Может быть использован и  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , который характеризуется высокой удельной поверхностью (около  $100 \text{ м}^2/\text{г}$ ) и мелкими порами (средний размер  $15 \text{ нм}$ ) [9]. Оптимальный носитель должен обладать высокой механической прочностью, термической и химической устойчивостью в условиях реакции. Пористая структура носителя должна обеспечивать возможность нанесения активного компонента в минимально достаточном количестве.

#### Заключение

Рассмотренные особенности внутрицилиндрового экологического каталитического катализа ДВС, результаты проведенных исследований, в том числе и в НГУ «ХПИ», позволяют предложить следующую последовательность разработки технических решений и проведения исследований каталитических процессов в цилиндре двигателя:

- создание высокоэффективных каталитических покрытий на основе переходных металлов и изучение их свойств в условиях камеры сгорания ДВС;
- моделирование и исследование физических, химических и каталитических процессов в камере сгорания ДВС;
- разработка технологии получения прочного и термически стойкого пористого носителя покрытия;
- изготовление опытного образца двигателя с разработанным каталитическим покрытием и носителем;
- проведение комплекса исследований ДВС для оценки эффективности применения разработанных технологий с определением концентраций токсичных выбросов в отработавших газах;
- оценка стабильности каталитических процессов при длительной работе двигателя;
- разработка промышленной технологии внутрицилиндрового экологического катализа.

#### Список литературы:

1. Рыкова И.В. Пути экологизации рабочего цикла ДВС / Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2013. – №31. – с.111-115.
2. Сибриков Д. А. Снижение теплонапряженности 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.
3. 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.
4. Попова Н.М. Катализаторы очистки газовых выбросов промышленных производств / Н.М. Попова. – М.: Химия, 1991. – 176 с.
5. 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>.
6. Власенко В.М. Экологический катализ / В.М. Власенко. – К.: Наукова думка, 2010. – 238 с.
7. Шпаковский В.В. Научно-технические основы улучшения показателя ДВС применением поршней с корундовым слоем: дис. ... доктора техн. наук : 05.05.03 / Шпаковский Владимир Васильевич. – Х., 2009.
8. Парсаданов И.В. Оценка влияния гальваноплазменного покрытия поршня автотракторного дизеля на выбросы твердых частиц с отработавшими газами / И.В. Парсаданов, А.П. Поливянчук // Двигатели внутреннего сгорания – 2009. – №2 – С. 97-100.
9. Власенко В.М. Влияние модифицированного носителя  $\gamma$ -оксидом алюминия на свойства палладиевого катализатора / В.М. Власенко, В.А. Кузнецов, И.А. Мальчевский. – Доклады Ан УССР. Сер. Б. – 1988. – №3. – с.4–43.
10. Ведь М.В. Каталитическая активность покрытий на основе переходных металлов / М.В. Ведь, Н.Д. Сахненко, М.А. Глушкова, М.Б. Майба, А.В. Дементий А.В. // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2012. –

№3.– С.38-43. 11. Глушкова М.А. Формирование на основе переходных металлов для экотехнологий / М.А.Глушкова, Майба М.В., Ведь М.В., Сахненко Н.Д., Зюбанова С.И. // Интегровани технології промисловості. – 2012. – №3. – С. 104-106.

**Bibliography (transliterated):**

1. Rykova I.V. Puti jekologizacii rabocheho cikla DVS / Vesnik nacional'nogo tehničeskogo universiteta «HPI». – 2013. – №31. – s.111-115. 2. Sibrikov D. A. Snizhenie teplonaprjazhennosti porshnevnyh grupp sudovyh dizelej: avtoref. dis. nauch. stepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.08.05 «Sudovye jenergetičeskie ustanovki i ih jelementy (glavnye i vspomogatel'nye)» / D. A. Sibrikov. Novosibirsk. – 2004. – 20s. 3. 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. – R.182-191. 4. 4. Popova N.M. Katalizatory očištiki gazovyh vybrosov promyšlennyh proizvodstv / N.M. Popova. – M.: Himija, 1991. – 176 s. 5. 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>. 6. Vlasenko V.M. Jekologičeskij kataliz / V.M. Vlasenko. – K.: Naukova dumka, 2010. – 238 s. 7. Shpakovskij V.V. Nauchno-tehničeskie osnovy uluchšenija pokazatelej DVS primeneniem porshnej s korundovym sloem: dis. ... doktora tehn. nauk : 05.05.03 / Shpakovskij Vladimir Vasil'evič. – H., 2009. 8. Parsadanov I.V. Ocenka vlijanija gal'vanoplazmennogo pokrytija porshnja avtotraktornogo dizelja na vybrosy tverdyh chastic s otrabotavšimi gazami / I.V. Parsadanov, A.P. Polivjančuk // Dvigateli vnutrennego sgoranija – 2009. – №2 – S. 97-100. 9. Vlasenko V.M. Vlijanie modifirovannogo nositelja  $\gamma$ -oksidom aljuminija na svoystva palladijovogo katalizatora / V.M. Vlasenko, V.A. Kuznecov, I.A. Mal'čevskij. – Doklady An USSR. Ser. B. – 1988. – №3. – s.4–43. 10. Ved' M.V. Katalitičeskaja aktivnost' pokrytij na osnove perehodnyh metallov / M.V. Ved', N.D. Sahnenko, M.A. Glushkova, M.B. Majba, A.V. Dementij A.V. // Jenergotehnologii i resursobereženie. – 2012. – №3. – S.38-43. 11. Glushkova M.A. Formirovanie na osnove perehodnyh metallov dlja ekotehnologij / M.A. Glushkova, Majba M.V., Ved' M.V., Sahnenko N.D., Zjubanova S.I. // Integrovani tehnologii promislivosti. – 2012. – №3. – S. 104-106.

Поступила в редакцію 08.07.2013

**Парсаданов Игорь Владимирович** – доктор техн. наук, главный научный сотрудник кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: [parsadanov@kpi.kharkov.ua](mailto:parsadanov@kpi.kharkov.ua).

**Рыкова Инна Витальевна** – канд. техн. наук, старший научный сотрудник кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», [rykova@kpi.kharkov.ua](mailto:rykova@kpi.kharkov.ua).

**Маклаков Александр Николаевич** – студент кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина.

**ОСОБЛИВОСТІ ВНУТРИЦИЛІНДРОВОГО ЕКОЛОГІЧНОГО КАТАЛІЗА В ДВЗ**

*I.V. Parsadanov, I.V. Rykova, A.N. Maklakov*

Проаналізовано результати проведених робіт, запропонована послідовність проведення досліджень каталітичних процесів у циліндрі двигуна і розробки технічних рішень із застосуванням нетрадиційних матеріалів та перспективних технологій для реалізації внутрішньо циліндрового екологічного каталізу.

**THE FEATURES OF IN-CYLINDER ECOLOGICAL CATALYSIS IN ICE**

*I.V. Parsadanov, I.V. Rykova, A.N. Maklakov*

As the results of this work, it was proposed the sequence of studies of catalytic processes in the engine cylinder and the developed the technical solutions using non-traditional materials and perspective technologies for the realization of ecological in-cylinder catalysis.