

УДК 621.38

Р.Ю. Чаплинский, А.И. Кузьмичёв, канд. тех. наук, О.Д. Вольпян, А.В. Лецишин, канд. техн. наук, Г.Н. Веремейченко, канд. техн. наук.

Применение плазменной электроники и фотоники для улучшения экологии дизельных двигателей

В работе рассмотрен метод нейтрализации выхлопных газов дизельных двигателей при помощи устройств плазменной электроники. Для диагностики и мониторинга выхлопных газов предлагается применять фотонные системы. Проведена успешная апробация методов нейтрализации угарного газа (СО) в плазмохимическом реакторе с поверхностным барьерным разрядом и контроля дымности выхлопа дизельного двигателя при помощи фотонного устройства на светодиодах и фотодиодах.

Method of diesel exhaust neutralization with help of the plasma electronic devices is considered. Photonic systems are proposed to use for diagnostic and monitoring of automotive exhaust. Methods of CO neutralization in plasma chemical reactor with help of the surface barrier dielectric discharge and monitoring of diesel exhaust smokiness with help of photonic device on the base of light emitting and photosensitive diodes were successful approved.

Введение

В конце двадцатого века проблема загрязнения окружающей среды приобрела глобальный характер. Одним из основных источников вредных выбросов в атмосферу являются транспорт и энергетические установки, использующие двигатели внутреннего сгорания [1]. Их выбросы являются причиной фотохимического смога и кислотных дождей, негативно влияют на репродуктивную функцию человека. Проблема с выхлопными газами (ВГ) бензиновых двигателей решается при помощи каталитических нейтрализаторов на основе благородных металлов. С выхлопом дизельных двигателей (ДД) бороться сложнее, поскольку он содержит много сажи, которая покрывает поверхность катализатора и снижает эффективность и время его работы. В то же время мировое количество ДД и их общая суммарная мощность во много раз больше количества и мощности бензиновых двигателей. Таким образом, проблема улучшения экологии ДД является крайне актуальной.

С целью снижения вредности ВГ развитыми странами были разработаны нормы, контроли-

рующие количество основных вредных веществ в выхлопе ДД. Основными считаются нормы, принятые в Евросоюзе. Европейские экологические стандарты (нормы «Евро») регламентируют содержание в выхлопе автомобилей углеводородов, оксидов азота, угарного газа и твердых частиц. Различаются нормы для дизельных и бензиновых моторов, а также для легковых и грузовых автомобилей разного типа.

С 1-го сентября 2009 года в 27-ми странах-членах Евросоюза был введен стандарт «Евро 5», предусматривающий для ДД снижение на 80% выбросов сажи и на 20% - NO_x по сравнению с предыдущим «Евро 4», который в свою очередь в 2,5 раза жестче, чем «Евро 3», принятого в Украине. «Евро-5» также предусматривает сокращение выброса твердых частиц в ВГ с нынешних 25 мг/км («Евро-4») до 5 мг/км. Содержание СО в выхлопе дизелей должно сократиться на 20%. Кроме того, уменьшены сроки эксплуатации катализаторов и установлены сроки эксплуатации сажевых фильтров.

В последнее время наблюдается тенденция к «электронизации» двигателей внутреннего сгорания [2], с другой стороны, постоянно растёт роль электроники в решении экологических проблем [3]. Поэтому логичным является применение электронных методов для решения задачи улучшения экологии дизельных двигателей.

В работе рассматривается состав ВГ дизелей, анализируется возможность их нейтрализации путём обработки в неравновесной низкотемпературной плазме атмосферного давления, апробируются плазмохимический реактор на поверхностном барьерном разряде для нейтрализации СО и фотонное устройство для контроля дымности выхлопа ДД.

1. Экологические проблемы при эксплуатации дизельных двигателей

ВГ дизелей представляют собой сложную многокомпонентную смесь газов, паров, капель жидкостей и дисперсных твердых частиц. Всего ВГ содержит около 280 компонентов, среди которых можно выделить азот N_2 , кислород O_2 , продукты полного сгорания топлива (диоксид углерода CO_2 и водяной пар H_2O), продукты неполного сгорания топлива (монооксид углерода

или угарный газ CO), углеводороды C_nH_m , дисперсные твёрдые частицы, основным компонентом которых является сажа, вещества образующиеся в результате термического синтеза из воздуха при высоких температурах (оксиды азота NO_x), а также оксиды серы, альдегиды, продукты конденсации и полимеризации [1]. Кроме продуктов сгорания топлива в ВГ дизелей присутствуют продукты сгорания смазочного масла и вещества, образующиеся из присадок к топливу и маслу. В незначительных количествах (1-2%) ВГ содержат водород H_2 и инертные газы – Ar и др.

Объёмная концентрация токсичных веществ в ВГ сравнительно невелика и составляет 0,2-2%. При этом около 80-95% от общей массы токсичных компонентов ВГ приходится на долю пяти основных соединений: NO_x , CO, C_nH_m , альдегидов, диоксида серы SO_2 . Наибольшее содержание альдегидов в ВГ отмечается при работе непрогретого двигателя в режимах пуска и холостого хода, поэтому их содержание в ВГ дизелей, как правило, не нормируется.

2. Чем может быть полезна плазменная электроника и фотоника?

Плазменная электроника включает электронные устройства и системы на основе плазменных разрядов различного типа. Применение плазменной электроники позволяет одновременно решить ряд важных проблем в двигателях внутреннего сгорания, таких как, повышение качества нейтрализации выхлопа от токсичных веществ и долговечности системы, снизить стоимость нейтрализатора, поэтому, на наш взгляд, основное место в решении проблемы экологии ДД должно принадлежать именно плазменным системам.

Метод плазменной нейтрализации состоит в воздействии нетермическим плазменным разрядом на ВГ. В результате этого воздействия и многостадийных плазмохимических реакций в разрядном промежутке образуются свободные радикалы, которые реагируют с токсичными составляющими выхлопа и образуют нетоксичные или слаботоксичные вещества.

Для генерации химически активной плазмы в автомобильных нейтрализаторах необходимо использовать такие разновидности разрядов и электродных систем, которые могут функционировать длительное время с сохранением рабочих характеристик, несмотря на неблагоприятные условия эксплуатации. Наиболее подходящими для этого являются нетермические разряды атмосферного давления типа коронного разряда и разряда с диэлектрическим барьером [4, 5].

Плазменная электроника может применяться не только в качестве каталитического нейтрализатора ВГ. Известен также эффект [6], воздействия электрического поля коронного разряда на топливно-воздушную смесь, обнаружено заметное положительное влияние на рабочий процесс и выходные показатели двигателей внутреннего сгорания. Причина – одновременное воздействие поля и на топливо, и на воздух. При этом постоянный или переменный вид тока, значения не имеет.

При эксплуатации ДД, в том числе в случае применения систем нейтрализации, целесообразно контролировать выхлоп двигателей по химическому составу и содержанию сажи (дымности). Для этих целей наиболее всего подходят бесконтактные оптические (фотонные) фотометрические и спектрофотометрические системы. При этом проблему защиты оптической системы от осаждения на неё посторонних веществ можно решить с помощью воздушной оболочки повышенного давления, окружающей оптические элементы. Применение фотонной системы контроля и мониторинга выхлопа позволяет создать систему автоматического управления работой “электронизированного” двигателя и минимизировать выброс вредных веществ в атмосферу.

3. Экспериментальная апробация плазменного реактора

Был проведен эксперимент для определения возможности плазмохимической конвертации угарного газа CO, являющегося очень опасным для человека веществом, в безопасный углекислый газ CO_2 . Для генерации плазмы использовался поверхностный барьерный разряд.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Установка содержит плазмохимический реактор, представляющий собой полый стеклянный цилиндр с торцами, изготовленными из фторопласта. Внутри реактора расположена активная матрица МБР-1, на поверхности которой создается поверхностный барьерный разряд. Для питания разряда применяется импульсный генератор G2, генерирующий высоковольтные импульсы положительной полярности амплитудой до 9 кВ. Максимальная мощность, затрачиваемая на создание разряда, составляет 4 Вт. В качестве газоанализатора используется прибор «Авилон 1-1», способный определять концентрацию CO и CO_2 в потоке воздуха. Установка также содержит необходимую газовую аппаратуру: клапаны, манометры, ротаметры и баллон с CO.

На рис. 2 представлена конструкция матрицы МБР-1. Она представляет собой керамичес-

кую поликоровую подложку (48x60 мм²), на поверхность которой нанесены тонкослойные медные электроды. Нижний сплошной электрод заземлён; верхние электроды, напоминающие

встречно-штыревой преобразователь, соединены вместе и играют роль высоковольтного электрода; на них подаются импульсы от генератора G2.

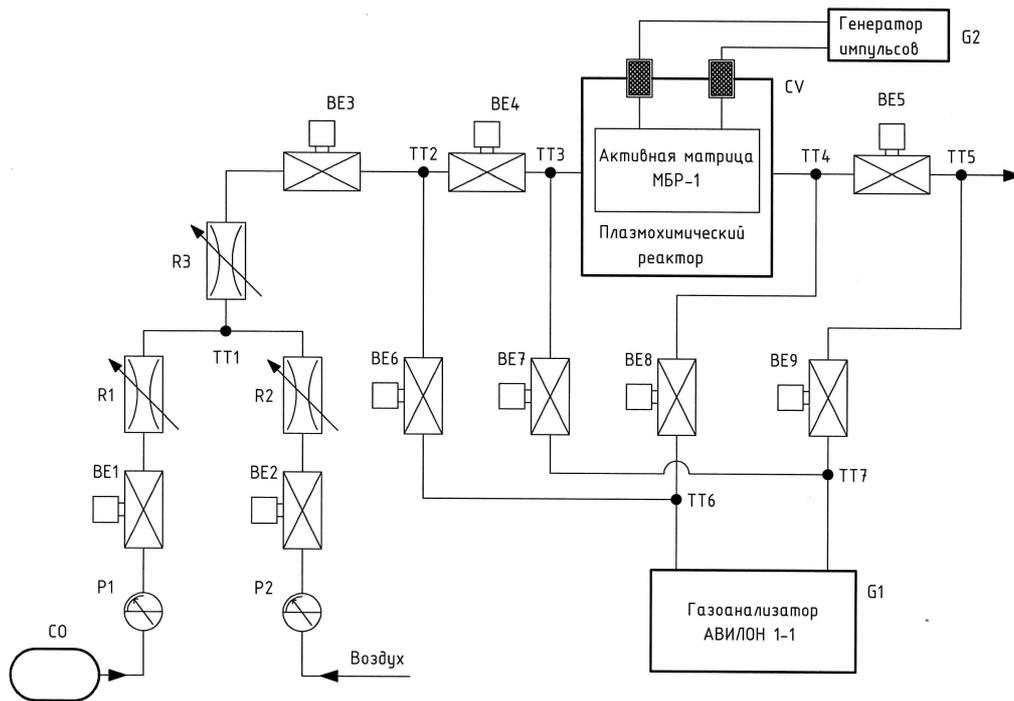


Рис. 1. Схема экспериментальной установки по нейтрализации угарного газа CO. BE1-BE9 – электромагнитные клапаны, P1, P2 – манометры, R1-R3 – ротаметры

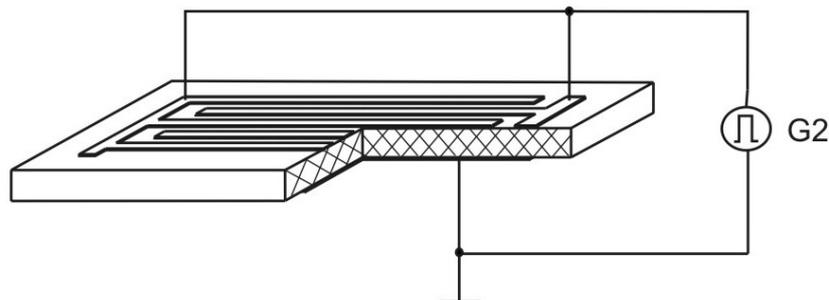


Рис. 2. Активная матрица МБР-1. Жирными линиями показаны электроды

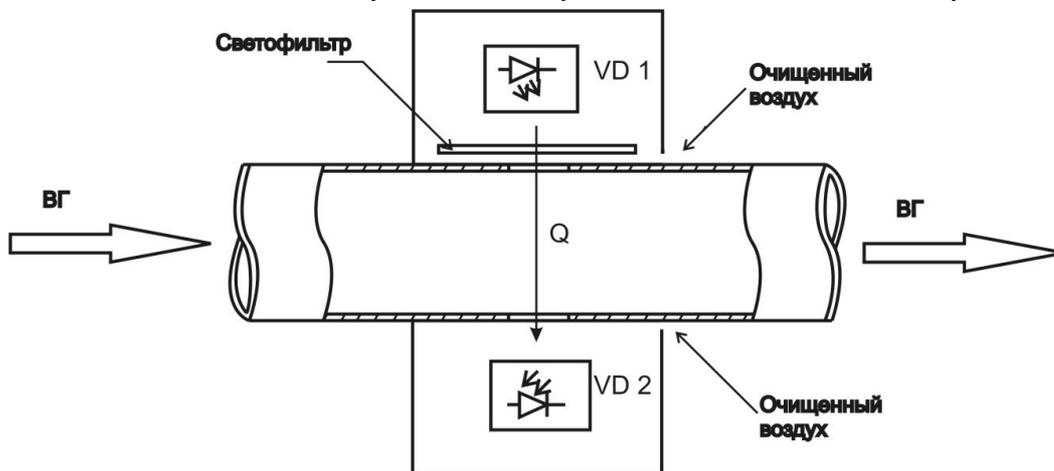
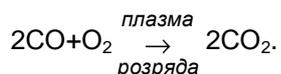


Рис. 3. Экспериментальная фотонная система контроля дымности выхлопа дизельного двигателя

Возникновение поверхностного разряда приводило к образованию плазменного слоя в промежутках между полосками металлизации на верхней поверхности матрицы МБР-1. Активные частицы кислорода (предположительно, возбужденные молекулы O_2^* , ионы O_2^- , O_2^+ , озон O_3 и др.) взаимодействовали с молекулами СО с образованием стехиометрического диоксида углерода (углекислого газа) CO_2 . В упрощенном интегрированном виде химические процессы можно выразить уравнением



Эксперименты показали, что при потоках угарного газа и его концентрации в газозвушной смеси меньше критических происходило доокисление всего количества СО-газа до CO_2 , что означало полную нейтрализацию угарного газа на выходе из реактора. В наших условиях величина критического потока составляла около 25 стандартных $см^3/мин$ при 10 %-ной концентрации на входе в реактор (при этом матрица МБР-1 располагалась вблизи стенки реактора параллельно газовому потоку). Значе-

ния указанных критических параметров пропорционально зависели от мощности разряда и угла наклона матрицы относительно направления газового потока. Таким образом, проведенный эксперимент подтвердил возможность полной нейтрализации СО в определенных условиях плазмохимического процесса.

Экспериментальная апробация фотонной системы контроля дымности дизельного двигателя

Как было сказано выше, работа ДД сопровождается выбросом большого количества сажи, что приводит к увеличению дымности выхлопа. Для контроля дымности можно использовать эффект ослабления интенсивности светового потока при его прохождении через ВГ с взвесью частиц сажи. Стандартный контроль осуществляется на длине волны 530 нм (зеленый свет). На рис. 3 показана схема изготовленного устройства, которое было установлено на выхлопной трубе восьмицилиндрового ДД марки RABA-2156 мощностью 200 л.с.

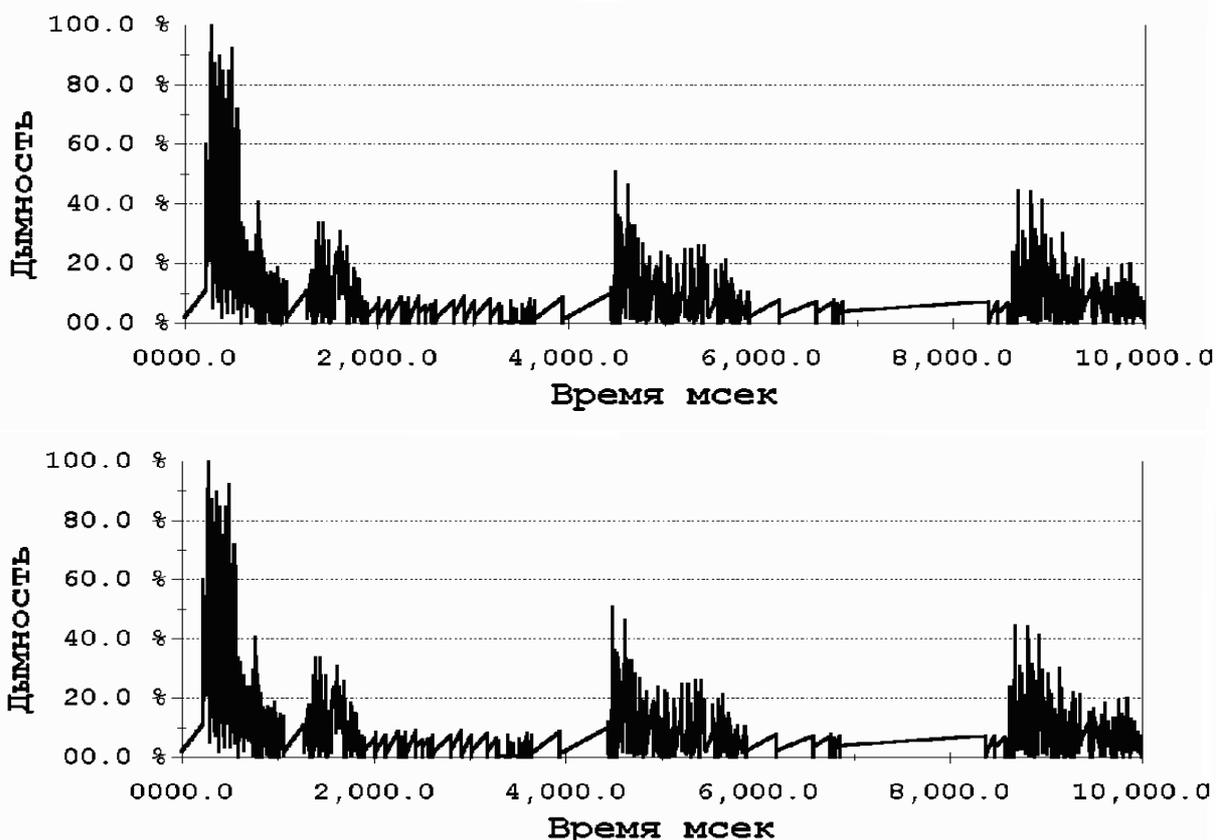


Рис. 4. Временные диаграммы дымности (нормированной на максимальное значение) выхлопа ДД типа RABA-2156 в начальный период работы двигателя. Нижняя диаграмма представляет собой растянутую начальную часть верхней диаграммы

Устройство содержит камеру со светодиодом VD1, световой поток Q которого проходит через светофильтр, отверстие в верхней части трубы, поток ВГ, отверстие в нижней части трубы и попадает в камеру с фотодиодом VD2. Для предотвращения осаждения пыли, сажи и других веществ на светочувствительные элементы устройства в камеры подаётся очищенный воздух под давлением. Этот воздух также обеспечивает охлаждение камер и фотонных приборов. Используется система стабилизации излучения VD1. Уменьшение светового потока, поступающего на VD2, рассматривается как результат рассеивания излучения от VD1 на частицах сажи, то есть, чем больше задымленность, тем меньше сигнал фотодиода VD2. Сигнал фотодиода обрабатывается, и на индикаторном устройстве осциллографического типа демонстрируются временные диаграммы изменения дымности во времени.

На рис. 4 представлены временные диаграммы, показывающие изменение дымности ДД с момента запуска двигателя. Можно видеть, что работа отдельных цилиндров и двигателя в целом крайне нестабильна в начальный период работы двигателя.

Созданную и испытанную фотонную систему можно использовать для тестирования ДД и мониторинга во время его эксплуатации по параметру «дымность ВГ». Такая система может применяться в лабораториях и на станциях технического обслуживания двигателей.

Выводы

В работе рассмотрены методы плазменной нейтрализации ВГ дизельных двигателей и фотонного контроля их дымности. Успешная апробация лабораторных устройств, реализующих эти методы, показала целесообразность дальнейших исследований и разработок плазменных систем нейтрализации и фотонных методов контроля выхлопа с целью их промышленного применения и повышения эффективности использования дизельных двигателей.

Литература

1. В.А. Марков, Р.М. Баширов, И.И. Габитов. Токсичность отработанных газов дизелей. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
2. <http://www.search.pro-radio.ru/auto/>
3. С.В. Денбновецкий, А.И. Кузьмичев. Електронні прилади та пристрої охорони навколишнього середовища //Електроника и связь (Киев). – 1998.– № 4. – Ч. 3. – С. 605-607.
4. M. Yamada, Y Ebara, T Ito, NO_x removal by using saw tooth-shaped electrodes. – Papers of Techn. Meet. Electr. Disch. Japan. IEE, 1999. – V. Ed.-99. – No. 94-108. – P. 1-6.
5. L. Aubrecht, S. Pekarek, J. Koller, Z. Stanek, Multineedle-to-plate corona discharge. – Proc. Int. Conf. HAKONE VII, 2000. – V.1.– P. 73-77.
6. В.А. Звонов, Н.А. Макаров. Активирование топлива внешними физическими воздействиями и его влияние на рабочий процесс ДВС // Автомобильная промышленность. – 2008. – № 11. – С. 26-28.