

АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ ШЕЛЕСТОВ

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры
электроники и электроэнергетики физико-технического фа-
культета, Петрозаводский государственный университет
shelestov@psu.karelia.ru

ВАЛЕРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ ГОСТЕВ

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры
электроники и электроэнергетики физико-технического фа-
культета, Петрозаводский государственный университет
vgostev@psu.karelia.ru

РАЗРАБОТКА МИКРОПЛАЗМАТРОНА В КАЧЕСТВЕ УСТРОЙСТВА ПОДГОТОВКИ ТОПЛИВА ДВС

В статье описана разработка устройства для осуществления несамостоятельного разряда, инициируемого жидкостным микроплазматроном, и проведены измерения основных его характеристик.

Ключевые слова: плазма, плазматрон, газовый разряд, подготовка топлива

Как известно, большинство современных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), оснащенных системами инжекторного впрыска или карбюраторными системами подготовки топлива при приготовлении бензиновой смеси, потребляют значительное количество воздуха, которое поглощают из атмосферы. Воздух необходим как окислитель при сгорании паров бензина в цилиндрах двигателя. Очевидно, что окислителем является не сам воздух, а содержащийся в нем кислород. Достоинством такого метода забора воздушного кислорода для приготовления топливной смеси является его простота. Однако при этом метод имеет ряд недостатков, основной из которых – поглощение вместе с кислородом из воздуха других содержащихся в нем газов, главным образом азота, которые также могут участвовать в процессе горения с образованием различного рода оксидов. Содержание кислорода в воздухе составляет около 21 %, азота – около 78 %. Еще почти 1 % – это аргон и углекислый газ, которые не участвуют в процессе горения, но также поглощаются вместе с кислородом, занимая полезный объем рабочей камеры. В большинстве устройств подготовки топлива образуется неоднородная горючая смесь, часть топлива попадает на стенки цилиндра, в результате чего происходит неполное сгорание топлива. Вследствие неполноты сгорания происходит интенсивное выделение оксида углерода и несгоревших углеводородов. Горючесть топливовоздушных смесей в двигателях низка, несгораемые твердые частицы, находящиеся в топливе, откладываются в виде нагара и окалины в камерах сгорания, в клапанной системе. Нагар и окалина, откладываясь на клапанах, препятствуют их герметичному закрытию. В результате этого часть топлива, не сгорая, через неплотно сидящие в седлах выпускные клапаны при движении поршня вверх выходит в выхлопной коллектор и далее

в атмосферу. Кроме того, при высоких температурах окалина накаливается, превращаясь в своеобразную «свечу зажигания». При поступлении топливной смеси в камеру сгорания сразу начинается процесс ее воспламенения от окалины («калильное зажигание»). Энергия, выделяющаяся при этом, препятствует движению поршня в верхнюю мертвую точку, выполняя тем самым отрицательную работу. Поршень в верхней точке получает слабый импульс и движется вниз, вращая коленчатый вал (полезная работа) и преодолевая сопротивление других поршней, тормозящихся «калильным зажиганием». Таким образом, лишь часть топлива выполняет в двигателе полезную работу.

В условиях постоянно возрастающего количества автотранспорта мы сталкиваемся с насущной необходимостью уменьшить вредное загрязнение воздуха. Совершенствование системы питания ДВС открывает новые возможности решения задачи максимального обогащения рабочей смеси окислителем с сохранением или улучшением при этом динамических и экологических параметров двигателя наряду со снижением расхода топлива.

Перспективным является способ получения кислорода из сторонних источников: воды, углекислого газа, жидких углеводородов. В процессе разложения данного сырья в камеры сгорания поступает ионизированный кислород без примесей, что ведет к существенной экологической чистоте отработанных картерных газов. Приоритетным направлением наших работ является исследование процесса разложения воды как наиболее доступного, экологически чистого сырья. Запланирован ряд экспериментов с углекислым газом и жидкими углеводородами. Для генерации аэроионного потока необходима разработка специального устройства – микроплазматрона,

способного разорвать химические связи между молекулами водорода и кислорода с их последующей ионизацией. Основной упор исследований делается на использовании воды в качестве источника кислорода. Такой выбор обусловлен тремя причинами.

Во-первых, из воды можно извлечь газ Н₂O (его еще называют газом Брауна), который горюч, при добавлении его к любому топливу, будь то бензин или дизель, увеличивает КПД двигателя. При этом экономия топлива достигает 25–65 % (по статистике в среднем 30–40 %). Также в связи с уменьшением расхода топлива увеличивается межсервисный пробег топливных форсунок. Таким образом, использование газа Брауна помогает решить проблему увеличения КПД двигателя. Каждый литр воды расширяется на 1866 литров горючего газа, следовательно, небольшой бачок с водой обеспечивает ДВС горючим газом в течение длительного времени.

Во-вторых, появляется возможность образования водорода в горючем газе. Следовательно, водород может выполнять функцию интенсификации процессов горения в ДВС. Это связано с тем, что температура горения водорода выше температуры горения традиционного ископаемого топлива, а скорость воспламенения почти в тысячу раз больше. Поэтому несгоревшее топливо, вместо того чтобы додоргать в катализаторе и вылетать в атмосферу, будет сгорать там, где и должно, – в камере сгорания.

В-третьих, вода обладает аномально высокой удельной теплоемкостью, в семь раз превосходящей теплоемкость бензина. Поступая в тракт отсоса картерных газов карбюратора или инжектора и смешиваясь с воздухом, она создает водно-эмulsionную смесь, которая, попадая в коллектор, охлаждает воздух, тем самым увеличивая его плотность. Это приводит к подъему коэффициента наполнения цилиндров и как следствие – росту мощности. Полученная смесь, продвигаясь далее по тракту двигателя, в три с половиной раза активнее отбирает тепло с клапанов, поверхностей поршней, головок и ци-

линдров, аккумулируя его в последующую работу. Затем под воздействием высокой температуры, которая в ряде случаев является избыточной, вода может распадаться на свободные радикалы Н–О–Н, то есть все тот же горючий газ, участвующий в химическом окислении (горении) топлива, повышая при этом полноту сгорания, что снова приводит к росту мощности. Побочным явлением аномальной теплоемкости воды становится факт сдерживания скорости распространения пламени, называемый «детонация», за счет активного отбора энергии в местах возникновения микровзрывов. Вследствие химического окисления не весь водород участвует в горении. Его избыток связывается с углеродом (нагаром), очищая поверхность цилиндропоршневой группы и масла. Подавление явления детонации позволяет применять низкооктановый бензин без увеличения расхода и потери мощности в сравнении с высокооктановым бензином. Это объясняется тем, что разница между марками бензина заключается лишь в наличии примесей, повышающих его детонационную стойкость.

Принцип горения бензина в цилиндрах выражается простой формулой:



Отсюда следует, что присутствие в двигателе воды, возникающей в результате горения топлива, не вызывает коррозии. Применение спиртовых смесей не улучшает динамику двигателя, а всего лишь способствует эксплуатации установки в зимнее время (понижает температуру замерзания воды). Ресурс двигателя только увеличивается за счет того, что при сгорании снова получается вода (в мизерном количестве), которая, являясь уникальным природным растворителем, избавляет двигатель от углеродных отложений, а также улучшает теплообмен между седлом и клапаном. При этом снижаются детонация и калильное зажигание, то есть нагрузка на весь кривошипно-шатунный механизм.

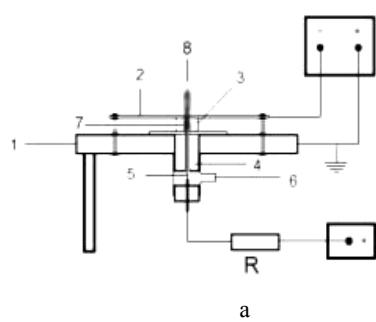


Рис. 1. а) Схема микроплазматрона; б) фотография плазменной струи в атмосферном воздухе:
1 – основной электрод, 2 – дополнительный электрод, 3 – кварцевая трубка, 4 – керамическая трубка, 5 – игла, 6 – канал для подачи воды, 7 – канал разряда, 8 – плазменная струя

Использование микроплазматрона на борту автомобиля дает еще одно преимущество: плазменную струю можно применять и для получения мелкодисперсионного спрея при подготовке топлива. Использование микроплазматрона в другом режиме, при меньших токах, позволяет создать плазменную форсунку, обеспечивая более мелкодисперсионный аэрозоль, чем при стандартном методе механического распыления.

Целью данного этапа работы являлось создание экспериментального прибора для изучения несамостоятельного разряда и измерение характеристик самого разряда и струи, генерируемой им в атмосферный воздух.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Для исследования плазмохимических процессов в струе была разработана экспериментальная модель высокотемпературного жидкостного микроплазматрона. Схема устройства приведена на рис. 1а.

Через трубку (6) подводилась вода. При подаче высокого напряжения между иглой (5) и электродом (1) происходил пробой этого промежутка и в пространство между электродами (1) и (2) генерировалась микроплазменная струя. При подаче напряжения на эти электроды зажигался несамостоятельный разряд (7) и из отверстия электрода (2) в атмосферный воздух выводилась плазменная струя (8) (рис. 1б).

ЭКСПЕРИМЕНТ

На первом этапе работы эксперимент проводился с жидкостным микроплазматроном. Исследовались различные характеристики струи: режимы и параметры горения струи, тепловая мощность, температура струи, расход воды, спектры излучения.

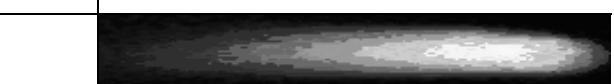
Условия горения разряда. Разряд зажигался при токе 500 мА, напряжением между иглой и первым электродом 1000 В, затем устанавливался стабильный режим горения при напряжении 300 В и токе 500 мА. Вкладываемая мощность составила 150 Вт. Характеристики этих режимов представлены в табл. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Энергетические характеристики микроплазменной струи. Мощность плазменной струи измерялась с помощью калориметра ИКТ-1М. Средняя тепловая мощность, вырабатываемая струей при токе $I = 500$ мА и напряжении $U = 300$ В: $P_{ср} = 84$ Вт. При электрической мощности $P = 150$ Вт КПД устройства составляет 56 %.

На рис. 2 представлено интегральное распределение интенсивности по длине струи при различных режимах работы устройства. Распределение интенсивности регистрировалось на цифровой носитель с последующей компьютерной обработкой.

Характеристики режимов горения разряда

Режим работы плазматрона	U, В	I, А	Расход воды, мг/час	Оценочная температура, °С	Характеристики плазменной струи
Режим малой подачи воды, напряжение на второй электрод не подается	300	0,5	40	1000–1200	 Имеет оранжевый цвет, в спектре излучения наблюдается интенсивная молекулярная полоса в области 590–600 нм
Режим нормальной подачи воды, напряжение на второй электрод не подается	300	0,5	70	1500–1700	 Излучение плазменной струи более интенсивное и имеет зеленый цвет, в спектре наблюдается яркая зеленая молекулярная полоса (500–560 нм)
Подано напряжение на второй электрод, расстояние между первым и вторым электродами – 1 см	300 между иглой и электродом (1), 400 между электродами (1) и (2)	0,5 в первой цепи, 0,6 во второй цепи	70	2000	 Изменила форму и цвет. В спектре излучения кроме полос в области 590–600 нм и 500–560 нм наблюдаются яркие линии атомарного водорода H_α и H_β
Подано напряжение на электрод (1), расстояние между электродами (1) и (2) – 0,5 см	300 между иглой и электродом (1), 400 между электродами (1) и (2)	0,5 в первой цепи, 0,6 во второй цепи	70	1500	 В спектре излучения наблюдаются яркие линии атомарного водорода H_α и H_β и полоса в области 590–600 нм

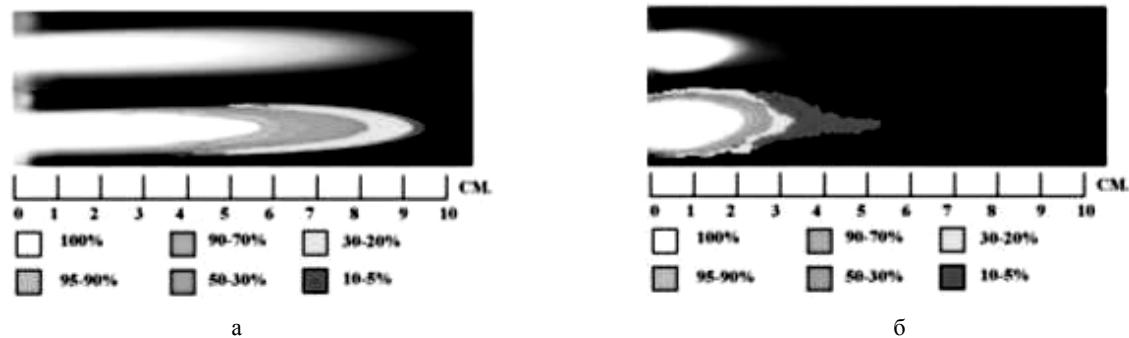


Рис. 2. а) Интегральное распределение интенсивности в струе; б) интегральное распределение интенсивности в струе при подаче напряжения на второй электрод

Как видно из рисунков, горение пламени существенно зависит от режима работы микроплазматрона [5], [2]. При режиме горения, когда на второй электрод не подается напряжение, образуется длинная плазменная струя, интенсивность различных зон которой плавно меняется. Если на второй электрод подается напряжение, то длина струи уменьшается, а область максимальной интенсивности занимает большую часть пламени [6].

Различие режимов горения проявляется и в воздействии пламени на вещество [1], [3]. При помещении железной проволоки в струю, когда напряжение на второй электрод не подано, она просто плавится, а при подаче напряжения начинает интенсивно сгорать, что свидетельствует об активном выделении кислорода в струе. На основании этого можно сделать вывод: при зажигании несамостоятельного разряда в струе начинают активно происходить плазмохимические реакции.

Спектроскопические характеристики излучения микроплазменной струи. В ходе работы были зарегистрированы спектры излучения струи плазматрона, распространяющейся в атмосферном воздухе (см. таблицу). Анализ спектров излучения [4] показал, что в них присутствуют молекулярные полосы в областях 500–560 нм (N_2, O_2, NO, NO_2) и 590–

600 нм (NO_2). При осуществлении несамостоятельного разряда, инициируемого микроплазматроном в плазменной струе, кроме указанных молекулярных полос появляются яркие линии водорода, 656 нм (H_α) и 486 нм (H_β), и кислорода O_2 – 531 нм и 562 нм. Спектры излучения, полученные из области несамостоятельного разряда показывают наличие только линий водорода и кислорода, а также полос молекулярного кислорода.

ВЫВОДЫ

В несамостоятельном разряде, инициируемом жидкостным микроплазматроном, образуется значительное количество водорода и кислорода, это позволяет надеяться, что данная установка может быть использована как плазмохимический реактор. Дальнейшие исследования связаны с определением количества образующегося водорода.

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства образования и науки Российской Федерации по федеральной целевой программе «Научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., Государственный контракт № П1452 от 03.09.2009, по конкурсу № НК-152П, проект «Разработка микроплазматрона в качестве устройства подготовки топлива ДВС».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гостев В. А. Применение низкотемпературной плазмы в биологии и медицине. Успехи и проблемы // Материалы пленарных докладов ФНТП-2001 и лекции школ по физике низкотемпературной плазмы. Петропавловск: Изд-во ПетрГУ, 2001. С. 356–360.
- Гостев В. А., Мамкович В. В., Сысун В. И. Исследование электрокинетических и спектральных характеристик микроплазмы разряда в геометрии острье-плоскость // Вторая Международная конференция по физике плазмы и плазменным технологиям ФППТ-2. Минск, 1997. Т. 1. С. 98–99.
- Мисюн Ф. А., Гостев В. А. Первый опыт и перспективы применения низкотемпературной плазмы в офтальмологии // Материалы II Евроазиатской конференции по офтальмохирургии. Екатеринбург, 2001. Ч. 2. С. 333–334.
- Таммет У. Д. Аспирационный метод измерения спектра аэроионов. Тарту, 1963. 232 с.
- Gostev V. A., Mamkovich V. V., Sysun V. I. // The Investigation of Microplasma Source Radiation. Proc. Contributed papers XXIII International Conference on Phenomena in Ionized Gases. France, Toulouse. 1997. Vol. 5. P. 80.
- Gostev V. A., Mamkovich V. V., Sysun V. I. Radiation Point Source // Proceeding of the Third Inter-Karelian Conference. Teaching Mathematics and Physics In Secondary and Higher Education. Petrozavodsk, Russia. 20–22 May 1998. P. 290–292.