

Июнь, № 4

Физико-математические науки

2013

УДК 533.9

**АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ ШЕЛЕСТОВ**

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электроники и электроэнергетики физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*shelestov@psu.karelia.ru*

**ВАЛЕРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ ГОСТЕВ**

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электроники и электроэнергетики физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*vgorstev@psu.karelia.ru*

**ОЛЕГ ВАЛЕНТИНОВИЧ ОЛЕЩУК**

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электроники и электроэнергетики физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*oov@psu.karelia.ru*

**АНТОН СЕРГЕЕВИЧ УСТИНОВ**

старший преподаватель кафедры энергообеспечения предприятий и энергосбережения физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*cmi06@mail.ru*

## СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА\*

Целью данной работы являлось исследование спектров холодной плазмы, получаемой при помощи специального устройства для осуществления несамостоятельного разряда. Само исследование спектрального состава плазменного потока производилось с помощью многоканального высокоскоростного триггерного спектрометра. В качестве плазмообразующего вещества использовался воздух, пары воды, а также пары бензина. Спектры были отождествлены, на основе чего сделан ряд выводов относительно присутствия в плазме атомов углерода и возбужденных углеводородных радикалов.

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

### ВВЕДЕНИЕ

Плазменные генераторы и генерируемые ими плазменные потоки благодаря своим уникальным особенностям прочно завоевали лидирующие позиции в технике и промышленности [3]. Примерами применения плазменных генераторов являются сварка и резка металлов и тугоплавких материалов, нанесение защитных покрытий на различные материалы, термическое обезвреживание высокотоксичных органических отходов, обеззараживание и стерилизация медицинских инструментов, обработка биологических объектов и др. [5]. В последнее время наблюдается все больший рост интереса к холодной плазме, получаемой при атмосферном давлении. Это связано прежде всего с особенностями работы с такой плазмой: отсутствие необходимости создания вакуума, простота ввода, вывода и обработки материала, технически приемлемые требования к источникам электропитания, невысокие эксплуатационные расходы.

Целью данной работы является проведение экспериментов по исследованию спектроскопических характеристик микроплазмотрона – генератора холодной плазмы и генерируемого им плазменного потока.

### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследование спектрального состава плазменного потока проводилось с помощью многоканального высокоскоростного триггерного спектрометра AvaSpec-2048FT, измеренная аппаратная ширина которого составила 0,3 нм. Схема экспериментальной установки по регистрации спектров приведена на рис. 1.

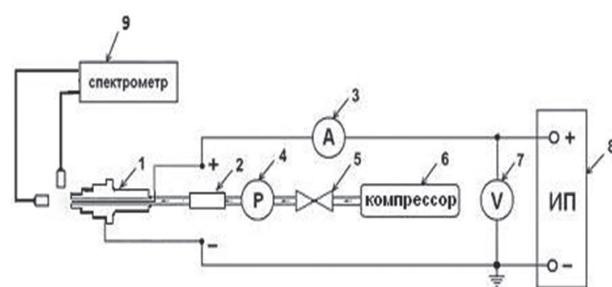


Рис. 1. Схема экспериментальной установки регистрации спектров: 1 – микроплазмотрон; 2 – барботирующее устройство; 3 – амперметр; 4 – манометр; 5 – вентиль регулирования избыточного давления; 6 – компрессор; 7 – вольтметр; 8 – источник питания; 9 – спектрометр

Регистрация спектров производилась в поперечном и продольном направлениях по отношению к плазменному потоку при напряжении  $U = 1500$  В, токе разряда  $I = 25$  мА и давлении  $p = 0,5$  атм. В качестве рабочего вещества использовался воздух, воздух + пары воды, воздух + пары воды и бензина.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные в эксперименте спектры анализировались согласно [2], [4] (рис. 2).

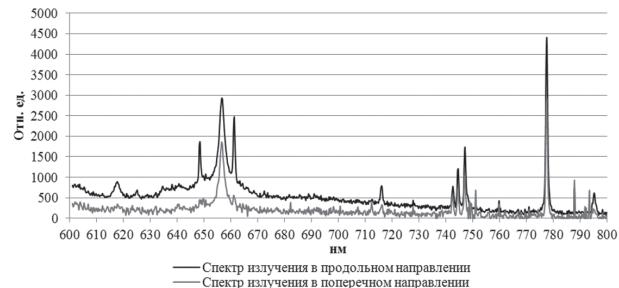


Рис. 2. Спектр излучения плазменного факела; рабочее вещество – воздух; 600–800 нм

В случае использования воздуха в качестве плазмообразующего газа в зарегистрированных спектрах были обнаружены интенсивные линии  $O$ ,  $O^+$ ,  $N$ ,  $N^+$ , полосы молекул  $O_2$ ,  $O_2^+$ ,  $O_3$ ,  $N_2$ ,  $NO$ , а также атомарные линии элементов материала электродов [6]. Для регистрации спектров применялся аспирационный метод измерения спектра аэроинов. Спектры, зарегистрированные в продольном направлении, отличались от зарегистрированных в поперечном направлении только значением интенсивности.

В случае использования в качестве плазмообразующего газа смеси воздуха и паров воды в спектрах излучения, кроме атомарных линий и молекулярных полос, зарегистрированных при использовании воздуха в качестве плазмообразующего газа, были обнаружены более интенсивные линии  $H_a$  и полоса молекулы  $H_2$ . Как и в предыдущем случае, спектры, зарегистрированные в продольном направлении, отличались от зарегистрированных в поперечном направлении только значением интенсивности.

На рис. 3, 4 приведены спектры излучения плазменного факела для рабочего вещества воздух + пары воды и бензина. При наличии в рабочем веществе паров бензина в УФ-области наблюдается присутствие в плазме атомов углерода и возбужденных углеводородных радикалов  $CN$ ,  $CN_2$ ,  $CN_3$ , электронные переходы которых лежат в области 200–280 нм. Также визуально наблюдалось значительное увеличение плазменного факела по сравнению с аналогичной величиной при использовании в качестве рабочего вещества воздуха и воздуха с парами воды.

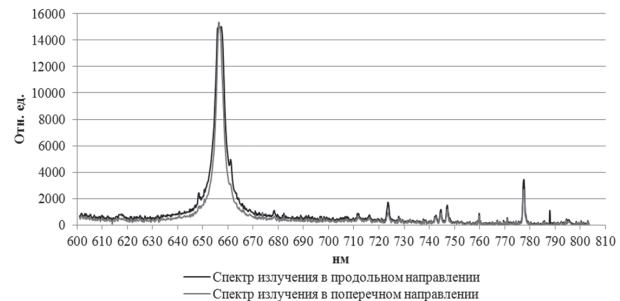


Рис. 3. Спектр излучения плазменного факела; рабочее вещество – воздух + пары воды и бензина; 600–800 нм

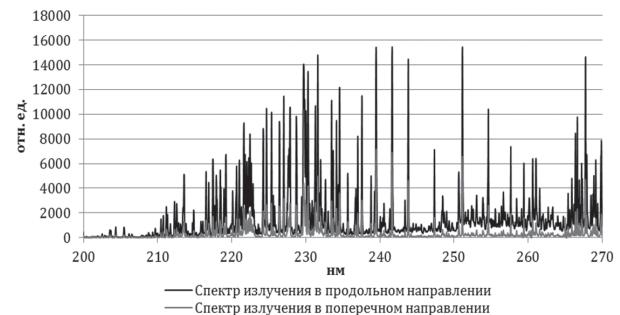


Рис. 4. Спектр излучения плазменного факела в ультрафиолетовой области; рабочее вещество – воздух + пары воды и бензина; 200–270 нм

## ВЫВОДЫ

Со ссылкой на известный метод спектрального исследования нами были получены и отождествлены спектры излучения для нескольких плазмообразующих веществ. В результате анализа полученных спектров был сделан ряд выводов относительно присутствия в плазме атомов углерода и возбужденных углеводородных радикалов в бензино-воздушной плазмообразующей среде, а также увеличения размеров плазменного факела при использовании паров воды по сравнению с аналогичной величиной при использовании в качестве рабочего вещества воздуха. Благодаря возможности работы в условиях воздушной атмосферы, низкой среднемассовой температуре воздушно-плазменного потока, использованию воздуха в качестве плазмообразующего газа, а также наличию в потоке плазмы химически активных компонентов, в особенности экзогенного оксида азота, и интенсивному оптическому излучению в УФ-области спектра значительно расширяются возможности применения данного газоразрядного генератора в различных областях и сферах деятельности человека [1].

Одним из основных и перспективных технических применений модели созданного инжектора является его использование в качестве плазменного устройства подготовки топлива в двигателях внутреннего сгорания.

\*Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 годы, Минобрнауки РФ, ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России (2009–2013)», государственные контракты № 16.740.11.0562, 14.B37.21.0747, 14.B37.21.1066, 14.B37.21.0755, а также в соответствии с государственным заданием Минобрнауки России и заказом Департамента научных и научно-педагогических кадров университету на оказание услуг № 2.3282.2011 и 2.2774.2011.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аристова Н. А., Беркутов Н. А., Пискарев И. М. Обезжелезивание шахтных вод генератором холодной плазмы // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 5. С. 50.
2. Барсуков В. И. Атомный спектральный анализ. М.: Машиностроение-1, 2005. 132 с.
3. Морозов А. И. Введение в плазмодинамику. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 576 с.
4. Осадько И. С. Селективная спектроскопия одиночных молекул. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2000. 320 с.
5. Подураев В. И., Татаринов Д. С., Петрова В. Д. Механическая обработка с охлажденным ионизированным воздухом // Вестник машиностроения. 1991. № 11. С. 27–31.
6. Стриганов А. Н., Свентицкий Н. С. Таблицы спектральных линий нейтральных и ионизованных атомов. М.: Атомиздат, 1966. 900 с.

**Shelestov A. S.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

**Gostev V. A.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

**Oleshchuk O. V.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

**Ustinov A. S.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

#### SPECRTRAL RESEARCH OF PLASMA FLOW KINETICS

The purpose of this work was to research spectra of the cold plasma received by means of a special device for implementation of semiself-maintained discharge. A research of spectral distribution of plasma flow was made by means of multichannel high-speed trigger spectrometer. Air, vapors of water, and vapors of gasoline were used as plasma-forming substances. Spectra were identified. Based on the obtained data a number of conclusions concerning presence of carbon atoms and hydrocarbons in plasma were made.

Key words: plasma, plasma torch, gas discharge, preparation of fuel

#### REFERENCES

1. Aristova N. A., Berkutov N. A., Piskarev I. M. *Deferrization of mine waters by generator of cold plasma* [Obeshelezivanie shakhtnykh vod generatorom kholodnoy plasmy]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]. 2011. № 5. P. 50.
2. Barsukov V. I. *Atomnyy spektral'nyy analiz* [Nuclear spectrum analysis]. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 2005. 132 p.
3. Morozov A. I. *Vvedenie v plazmodinamiku* [Introduction into plasma dynamics]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2006. 576 p.
4. Osad'ko I. S. *Selektivnaya spektroskopiya odinochnykh molekul* [Selection spectroscopy of single molecules]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2000. 320 p.
5. Podurayev V. I., Tatarinov D. S., Petrova V. D. Machine processing with cooled ionized air [Mekhanicheskaya obrabotka c okhlazhdeniem ionizirovannym vozdukhom]. *Vestnik mashinostroeniya* [Messenger of mechanical engineering]. 1991. № 11. P. 27–31.
6. Striganov A. N., Sventitskiy N. S. *Tablitsy spektral'nykh liniy neytralnykh ionizirovannykh atomov* [A table of spectral lines of neutral and ionized atoms]. Moscow, Atomizdat Publ., 1966. 900 p.

Поступила в редакцию 20.05.2013