

ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК 662.61+537.533.9

Третья Международная конференция специалистов и выставка по плазменной активации горения

¹В.Е. Мессерле, ²А.Б. Устименко

¹*Улан-Удэнский филиал Института теплофизики
им. С.С. Кутателадзе СО РАН*

²*НТО Плазмотехника, Алматы, Казахстан*

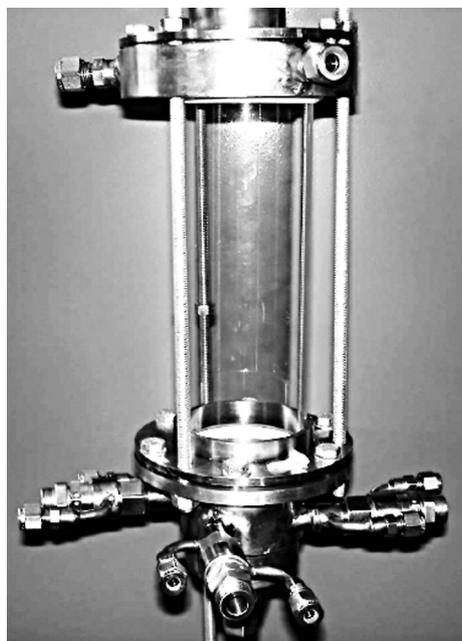
Представлен обзор работ 3-й Международной конференции специалистов по плазменной активации горения, посвященной рассмотрению последних достижений следующих научных направлений: конверсия и активация топлив, плазменное воспламенение топлив и контроль факела, генерация плазмы и моделирование, переработка и утилизация отходов и перспективные промышленные технологии.

Третья Международная конференция специалистов и выставка по плазменной активации горения (The 3rd International Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion – IWEPAC-3) [1] традиционно проводится в городе-спутнике Вашингтона Falls Church. В 2007 году она состоялась 18–21 сентября. Организаторами конференции выступили компания Plasma Applied Technologies и Los Alamos National Laboratory (США). На известных международных конференциях и симпозиумах по физике плазмы и плазмохимии [2–4], использованию твердых топлив и топливным системам [5–8] и горению [9, 10] расчетно-теоретические, экспериментальные и прикладные исследования по взаимодействию плазмы с топливом представлялись на отдельных секциях “Горение, поддерживаемое плазмой” и “Перспективные технологии использования твердых топлив”. Большая часть этих работ относится к фундаментальным исследованиям. В отличие от упомянутых выше научных конференций, данный форум собирает специалистов, работающих в сравнительно узкой области получения, исследования и применения низкотемпературной плазмы для воспламенения, активации и конверсии газообразных, жидких и твердых топлив и бытовых и промышленных отходов, а также потенциальных потребителей плазменных технологий (тепловые электростанции, котельные, мобильные энергетические установки и др.), представителей промышленности и инвесторов. В этой связи на конференции IWEPAC-3 в основном представлены разработки, имеющие практическую направленность и высокий потенциал коммерциализации.

В конференции приняли участие 50 специалистов из США, Канады, Бразилии, Великобритании, Украины, России и Казахстана. Работа конференции проходила в пяти последовательных технических секциях с ежедневными круглыми столами по их тематике. На круглых столах обсуждались возможности применения плазменных технологий и пути преодоления препятствий, возникающих при

их внедрении. Было заслушано 35 докладов с получасовым регламентом. Значительный интерес вызвала выставка, которая была организована на экспериментальной базе компании-организатора конференции Plasma Applied Technologies (г. McLean, США). Помимо выставленных рекламных стендов демонстрировались действующие плазменные устройства для воспламенения, газификации и конверсии различных топлив.

Работа конференции проходила по пяти следующим направлениям: «Конверсия и активация топлив», «Плазменное воспламенение топлив и контроль факела», «Генерация плазмы и моделирование», «Переработка и утилизация отходов» и «Перспективные промышленные технологии». В секции «Конверсия и активация топлив» особое внимание было уделено экологически чистым технологиям плазменной газификации угля, производству синтез-газа и водорода из жидких и твердых топлив [11–14]. Поскольку одним из основных критериев конкурентоспособности плазменных технологий являются удельные энергозатраты электроэнергии на процесс, то разумно сочетать плазменную технологию с традиционными методами интенсификации процессов тепло- и массообмена. Так, в работах [11, 12] предложена плазменно-вихревая технология газификации жидкого и пылеугольного топлив и конверсии газа. Разработан проточный плазменно-вихревой газификатор, оснащенный четырьмя плазмотронами в донной части (рис. 1). Топливо подается в дуговую зону плазмотронов, проходит термохимическую подготовку и газифицируется в кварцевом реакторе. Для компенсации эндотермического эффекта реакций газификации используется источник высокочастотной плазмы в начале реакционной зоны реактора. В результате комбинированного воздействия низкотемпературной плазмы и вихревых течений степень газификации каменного угля месторождения Powder River (США) с теплотой сгорания 13000 кДж/кг и средним размером частиц 60 мкм достигает 95 %. При этом вырабатывается высококачественный синтез-газ, состоящий на 70 % из водорода и монооксида углерода. При расходе 7,7 кг/ч угля и затраченной электрической мощности 15 кВт тепловая мощность полученного газа достигает 55 кВт. КПД гибридной плазменно-вихревой системы газификации углей достигает 70 %. Работа [13] посвящена



исследованию конверсии этанола в электродуговом разряде постоянного тока. Для осуществления электрического разряда в жидком топливе используется плазменный реактор, показанный на рис. 2. При плазменной газификации исходной реакционной смеси, состоящей из этанола, воды и воздуха, получен обогащенный водородом синтез-газ следующего состава (об.%): H_2 — 40,4, CO — 14,5, CH_4 — 5,7, C_2H_6 — 2,6, C_2H_4 — 2,3, C_2H_2 — 0,7, C_2H_5OH — 0,3, CO_2 — 1,0, H_2O — 2,1, O_2 — 12,5, N_2 — 18,0. В работе [14] предложен новый метод использования в различных топливных элементах синтез-газа, получаемого плазменно-паровой газификацией угля. Для повышения

Рис. 1. Плазменно-вихревой газификатор.

концентрации водорода предлагается использовать циклическую реакцию сдвига водяным паром $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2 + \text{CO}_2$ с последующим улавливанием и удалением CO_2 . Такой подход позволяет производить водород плазменной газификацией твердых и жидких топлив (уголь, глицерин, растительное масло) с дальнейшим его использованием в протонно-обменных мембранных топливных элементах. Значительный интерес представляет использование диэлектрических барьерных разрядов для переработки газообразных топлив [15–17]. Сущность этих работ заключается в исследовании процессов сжигания и разложения различных углеводородных газов (метана, ацетилена, этилена и др.) с целью получения чистого водорода для последующего его использования в качестве моторного топлива и снижения, тем самым, выбросов оксидов углерода, сопровождающих использование традиционных моторных топлив. Барьерный разряд также применяется для осуществления реакции гидрогазификации углерода $\text{C} + 2\text{H}_2 = \text{CH}_4$ [18]. Он позволяет существенно повысить скорость этой реакции без использования катализаторов и повышения давления в реакторе.

В работах [19, 20], представленных на секции «Плазменное воспламенение топлив и контроль факела», предлагается использовать барьерный разряд для двигателей внутреннего сгорания вместо традиционной свечи зажигания. При этом показано, что расход топлива может быть уменьшен на 15–22 % при одновременном снижении вредных газовых выбросов, в частности оксидов азота. В работе [21] микроволновой разряд рассматривается как средство повышения эффективности сжигания бедных топливных газовых смесей при коэффициентах избытка воздуха до 1,2. Практический интерес для аэрокосмической техники вызывает использование плазмы в целях повышения эффективности воспламенения и стабилизации горения сверхзвуковых струй водорода и этилена (C_2H_4) [22]. В работе [23] предложен плазмотрон (рис. 3), генерирующий сверхзвуковую воздушную струю (число Маха $M = 2$) для воспламенения топлива в газозвуковых реактивных двигателях. Авторы рассматривают четыре схемы организации равновесных и неравновесных электрических разрядов для воспламенения и сжигания как предварительно перемешанных топливных смесей, так и при отдельной подаче топлива и воздуха. В работе [24] предложено горелочное устройство нового типа для сжигания жидких и газообразных топлив, основу которого представляет трехвихревой плазменный реактор «Торнадо» электрической мощностью от 10 до 1000 Вт (рис. 4, а). Указанное горелочное устройство позволяет эффективно сжигать как очень бедные, так и богатые топливные смеси. Плазменное горелочное устройство обеспечивает возможность сжигания различных топлив и их смесей с высокими эколого-

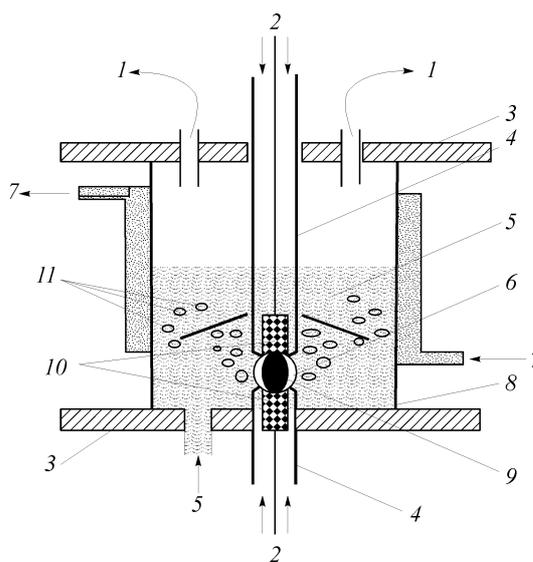


Рис. 2. Схема плазменного реактора: 1 — вывод газа, 2 — воздух, 3 — металлическая крышка, 4 — стеклянная трубка, 5 — топливо, 6 — газовый канал, 7 — охлаждающая вода, 8 — кварцевая трубка, 9 — плазма, 10 — электроды, 11 — пузырьки.

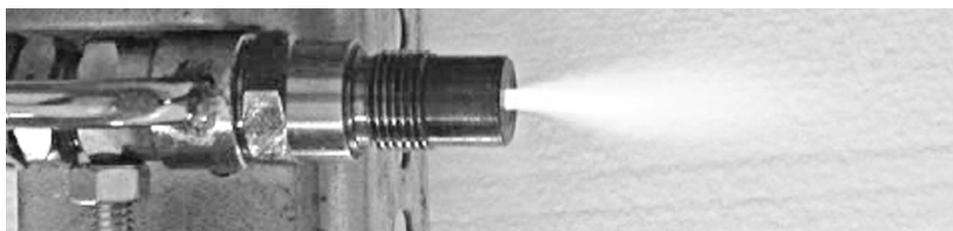


Рис. 3. Плазмотрон для воспламенения сверхзвуковой струи топлива.

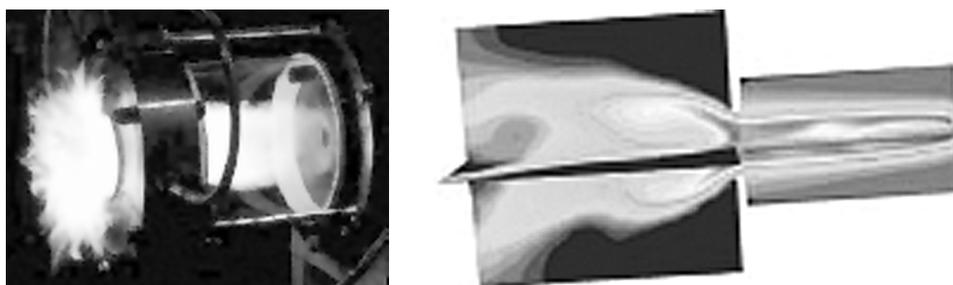


Рис. 4. Плазменный реактор “Торнадо” (а) и профиль температур внутри и на выходе из реактора (b), рассчитанный по трехмерной модели.

экономическими показателями. Показано, что выбросы оксидов азота при сжигании пропана могут быть снижены со 120 до 10 ppm (part per million — миллионная часть).

В целях обеспечения надежной и устойчивой работы плазменных устройств для воспламенения и сжигания газообразных, жидких и твердых топлив необходимы высокоресурсные плазмотроны. Один из таких плазмотронов (рис. 5) представлен в секции «Генерация плазмы и моделирование» в работе [25]. В конструкции данного электродугового плазмотрона мощностью до 350 кВт, предназначенного для воспламенения твердых топлив на тепловых электростанциях, используются медные водоохлаждаемые электроды с регенируемым нанокремниевым покрытием. Это возобновляемое покрытие образуется из продуктов диссоциации углеводородных газов в электродуговой зоне и обеспечивает практически неограниченный ресурс работы электродов плазмотрона. Ресурсные испытания данного плазмотрона при мощности 132 кВт продолжались более 500 часов и показали отсутствие эрозии электродов. Физико-химический анализ покрытия электродов выявил, что оно состоит преимущественно из многостеночных нанокремниевых трубок и нанокремниевых лент (рис. 6), характеризующихся высокой механической прочностью и электропроводностью. В работе [26] экспериментально исследован нестационарный режим газового разряда при высоком давлении в воздушно-углеводородных смесях применительно к воспламенению и стабилизации горения газового факела. Несмотря на крайне низкую электрическую мощность плазмотрона, не превышающую 0,1 кВт, эксперименты показали устойчивое воспламенение и стабилизацию горения воздушно-пропановых смесей в широком диапазоне изменений стехиометрических коэффициентов. Исследованы



воспламенение и стабилизацию горения воздушно-пропановых смесей в широком диапазоне изменений стехиометрических коэффициентов. Исследованы

Рис. 5. Высокоскоростной электродуговой плазмотрон постоянного тока.

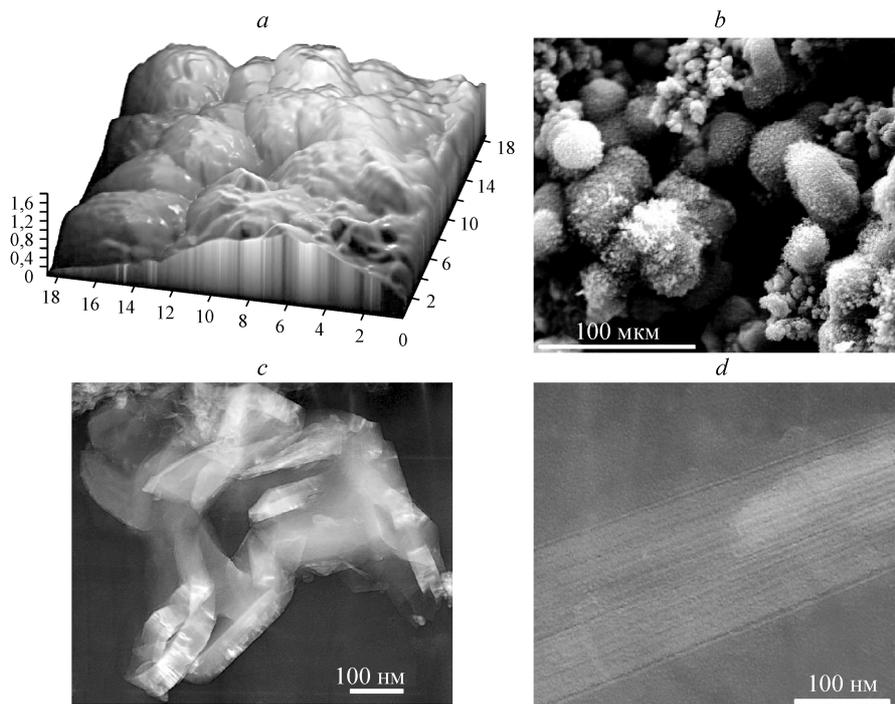


Рис. 6. Фотографии образцов катодного конденсата, полученные с помощью атомного силового (*a*), сканирующего электронного (*b*) и просвечивающего электронного (*c*, *d*) микроскопов: *a* — размерность осей в микронах.

переходные режимы от тлеющего к искровому электрическому разряду. На конференции были представлены несколько математических моделей, описывающих поведение неравновесной [27, 29] и термической плазмы [30], а также [28, 31] трехмерную гидродинамику реагирующих воздушно-топливных потоков с внутренним плазменным источником. В частности, в работе [27] рассмотрена трехтемпературная модель неравновесной воздушной плазмы, по которой выполнены расчеты колебательной и электронной температур. В работе [28] представлена трехмерная модель для расчетов реагирующих потоков в вышеупомянутом вихревом горелочном устройстве “Торнадо”. Рассчитаны профили температур, концентраций и скоростей потока (см. рис. 4). В работе [30] представлена математическая модель тепло- и массообмена между маленькими частицами и термической плазмой при наличии химических реакций. В работе [31] выполнен численный анализ высокоскоростных потоков с учетом горения топлива, воспламеняемого плазменным факелом. Рассчитаны профили статистического давления и линии тока на выходе плазмотрона.

Особое внимание на конференции уделялось практическим приложениям плазменных процессов в энергетике, металлургии, химической промышленности, на транспорте и в социальной сфере. В работе [32] рассматривается проблема эффективного воспламенения и сжигания жидких топлив с помощью эрозионного разряда применительно к разрабатываемым самолетам нового поколения. Особенностью технического решения является применение капиллярного плазменного генератора для воспламенения водных спиртовых растворов. Эксперименты показали, что эрозионная плазма при энергии разряда до 390 Дж является эффективным нагревателем водной поверхности и воспламенителем паров горючих жидкостей. В докладе [33] рассмотрена широкая сфера приложения плазменно-топливных систем (рис. 7), работа которых базируется на принципе термохимической подготовки

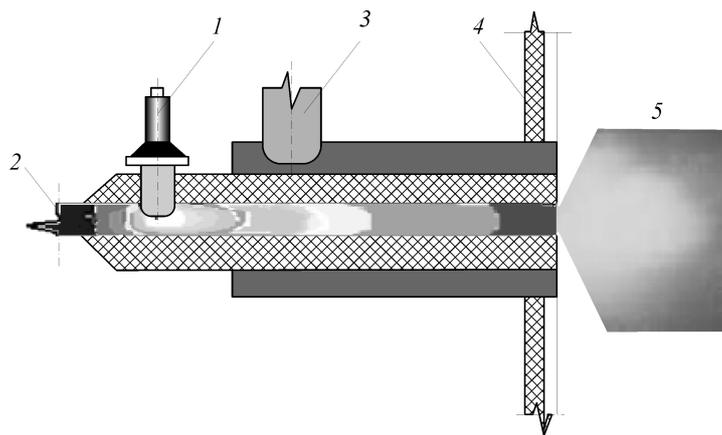


Рис. 7. Плазменно-топливная система: 1 — плазмотрон, 2 — ввод аэросмеси (угольная пыль и воздух), 3 — ввод вторичного воздуха, 4 — стенка топки, 5 — топка.

твердых топлив к сжиганию с использованием низкотемпературной плазмы для активации процесса. Плазменные технологии могут быть эффективно использованы для безмазутной растопки котлов, стабилизации горения пылеугольного факела и выхода жидкого шлака, газификации и комплексной переработки твердых топлив, получения дешевых сорбентов из низкосортных углей, высококачественного синтез-газа для производства водорода, синтетических жидких топлив и замещения металлургического кокса, безмазутного обжига глинозема, кирпичей и цементного клинкера, утилизации отходов глубокой переработки нефти, промышленных и бытовых отходов. В работе [34] предложено применение неравновесной плазмы для очистки воздуха от органических примесей и запахов. Создан компактный высоковольтный плазменный аппарат (рис. 8), удаляющий загрязнители до уровня концентрации меньше 50 ppm. Работа [35] посвящена проблеме использования плазменной технологии в производстве новых солнечных элементов. Выделены основные стадии производства солнечных элементов и показано, что использование плазмы позволит на 20 % сократить стоимость 1 кВт установленной мощности этих элементов, которая в настоящее время составляет 1370 долларов США на 1 кВт.

В настоящее время плазменные технологии широко используются для утилизации различных промышленных и бытовых отходов. В частности, в работе [36] рассмотрен плазменный каталитический модуль с использованием высокочастотного

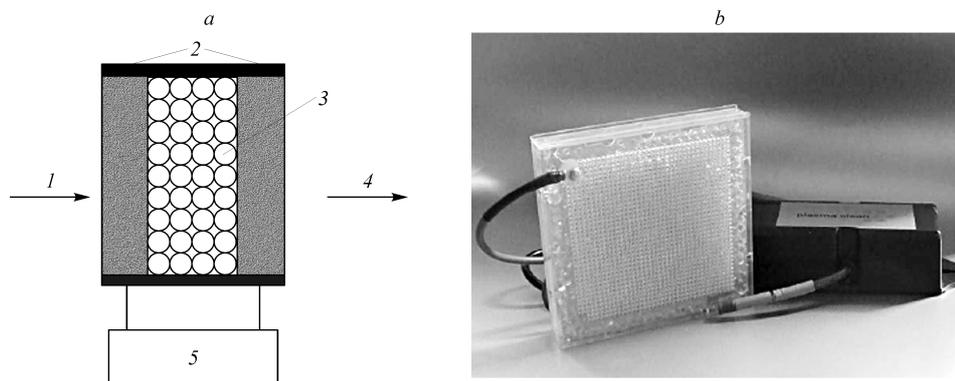


Рис. 8. Кассета плазменной очистки воздуха: 1 — загрязненный воздух, 2 — пористые электроды, 3 — наполнитель из шариков глинозема, 4 — чистый воздух, 5 — высоковольтный источник электропитания (a); размер модуля — $140 \times 140 \text{ мм}^2$ (b).

разряда (13,56 МГц) для утилизации нефтяных остатков. При средней электрической мощности модуля 45 кВт и составе перерабатываемых отходов — нефтяной остаток — 40 %, вода — 60 % — установка обеспечивает переработку 1 м³/ч таких отходов. Работа [37] посвящена использованию плазменной технологии газификации твердых и жидких органических материалов (угля, пластиков, использованных масел, биомассы, твердых бытовых отходов и др.) для производства синтез-газа и водорода из органической массы и искусственных драгоценных камней типа изумруда и оникса из минеральной части перерабатываемого сырья. На рис. 9 представлена схема утилизации биомассы с использованием промышленных плазмотронов фирмы «Европлазма» [37]. Промышленная установка плазменной газификации и стеклования бытовых отходов на морских судах представлена в работе [38]. Производительность пилотной установки достигает двух тонн отходов в сутки. Показано, что подобная система может быть использована для производства синтез-газа с тепловой энергией 7 ГДж или 700 кВт/ч электроэнергии на одну тонну перерабатываемых отходов. В работе [39] рассмотрена технология использования плазмы для утилизации твердых бытовых отходов и производства электроэнергии. Предлагается использовать неравновесную плазму для технического контроля загрязнения воздуха от продуктов сжигания отходов и конверсии твердого топлива в газообразные продукты для газотурбинных установок, вырабатывающих электроэнергию.

На заключительном заседании было отмечено, что заслушанные и проанализированные на конференции работы характеризуются высоким научно-техническим потенциалом для коммерциализации. По результатам конференции были приняты следующие решения:

- образовать Международный экспертный совет по плазменной активации горения,

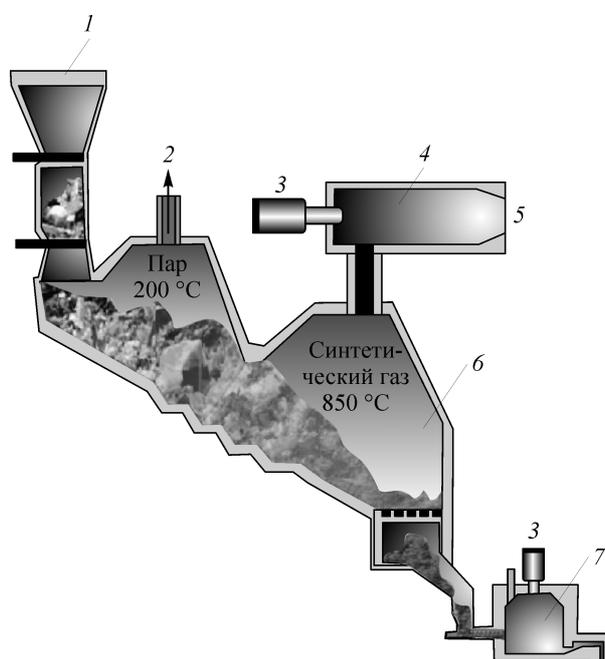


Рис. 9. Технологическая схема утилизации биомассы с использованием плазмотронов компании EUROPLASMA: 1 — отходы биомассы, 2 — пар, 3 — плазмотрон, 4 — плазменный факел, 5 — синтез-газ температурой 1400 °С и калорийностью 23 МДж/кг, 6 — газификатор, 7 — реактор для плавления золы.

– организовать консорциум компаний, организаций, ведомств и институтов для разработки концепций для участия в программе США “Будущее поколение” (Future Generation), финансируемой в объеме 1,5 млрд. долларов США,

– к следующей конференции, которая состоится в сентябре 2008 года, разработать программу поддержки молодых ученых, работающих в области плазменной активации горения.

Авторы надеются, что этот обзор даст специалистам представление о современном состоянии проблемы использования достижений плазмохимии и физики низкотемпературной плазмы применительно к процессам горения и конверсии газообразных, жидких и твердых топлив.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Proceedings** of the 3rd International Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — 91 p.
2. **Proceedings** of the 31st EPS Conference on Plasma Phys. Imperial College, London, UK, 28 June–2 July 2004 ECA. — Vol. 28G. — CDISBN 2-914, 771-22-3.
3. **Abstracts** and full-papers CD of 17th International Symposium on Plasma Chemistry, Toronto, Canada, August 7-12, 2005. — 1239 p.
4. **Abstracts** and full-papers CD of 18th International Symposium on Plasma Chemistry, Kyoto University, Japan, August 26-31, 2007. — 787 p.
5. **Мессерле В.Е., Устименко А.Б.** 28-я Международная конференция по использованию угля и топливным системам // Теплоэнергетика. — 2004. — № 1. — С. 73–76.
6. **The Proceedings** of the 28th International Technical Conference on Coal Utilization and Fuel systems // Clearwater, Florida, USA: Published by U.S. department of Energy & Coal Technology association of USA. — 2003. — Vol. I. — 756 p., Vol. II. — 1508 p.
7. **The Proceedings** of the 31st International Technical Conference on Coal Utilization and Fuel systems // Clearwater, Florida, USA: Published by U.S. department of Energy & Coal Technology association of USA. — 2006. — 1163 p.
8. **Мессерле В.Е., Устименко А.Б.** 31-я Международная техническая конференция по использованию угля и топливным системам (Неформальное название — The 2006 ClearWater Coal Conference) // Теплоэнергетика. — 2007. — № 3. — С. 71–76.
9. **Abstracts** of Work-in-Progress Poster Presentations of 30th International Symposium on Combustion. University of Illinois at Chicago, USA, July 25-30, 2004. — 591 p.
10. **Abstracts** of Accepted Papers and Work-in-Progress Posters of 31st International Symposium on Combustion, Heidelberg, Germany, August 6-11, 2006. — 636 p.
11. **Matveev I., Messerle V.E., Ustimenko A.B. Serbin S.** Bituminous Coal Plasma Gasification // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 25–26.
12. **Matveev I., Serbin S.** Thermal Efficiency of a Hybrid Type Plasma Reformation System. // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 27–29.
13. **Chernyak V.Ya., Yukhymenko V.V., Solonenko Yu.U. et al.** Plasma Production of Hydrogen-Enriched Gases from Ethanol // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 33–36.
14. **Galvita V.V., Messerle V.E., Ustimenko A.B.** COx-free Hydrogen Production by Combination of Plasma Reforming and Cyclic Water Gas Shift Technologies for the Fuel Cells Application // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 37–38.
15. **Kim M., Park S., Eden J.** Fuel Reforming Using Dielectric Barrier Discharge and Micro-Cavity Plasma Array and Reformed Fuel Effects on BUNSEN Flame // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 39–41.

16. **Rosocha L., Kim Yo.** Decomposition of Ethane in Atmospheric-Pressure Dielectric Barrier Discharges: Model // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 42–43.
17. **Renneke R., Rosocha L., Kim Yo.** Temperature Effects on Gaseous Fuel Cracking Studies Using a Dielectric Barrier Discharge // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 44.
18. **Kim Yo., Brannon S., Ziock H., Rosocha L.** Carbon Gasification in Hydrogen Dielectric Barrier Plasmas // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 45.
19. **Lenarduzzi L.** Plasma Ignition System for Internal Combustion Engines “Plasma Drive” // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 46.
20. **Memarzadeh S., Colgrove J., Ronney P.D.** Transient Plasma Discharge Ignition for Internal Combustion Engines // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 47.
21. **Esakov I.I., Grachev L.P., Khodataev K.V., Bychkov V.L.** Combustion of Lean Gaseous Fuel Mixture Stimulated by Microwave Discharge // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 48–50.
22. **Carter C., Leonov S.** Plasma-Assisted Combustion and Flameholding in High-Speed Flow // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 51–53.
23. **Matveev I., Leonov S.** First Test Results of the Transient Arc Plasma Igniter in a Supersonic Flow // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 54–57.
24. **Matveev I., Matveev S., Serbin S.** Triple Vortex Plasma Assisted Combustor. // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 58–61.
25. **Golish V.I., Karpenko E.I., Lukyashchenko V.G., Messerle V.E., Ushanov V.Zh., Ustimenko A.B.** Plasmatron with Regenerable Carbon Nanostructured Electrodes // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 62–63.
26. **Korolev Yu.D., Frants O.B., Landl N.V., Matveev I.** Investigation of a Non-Steady State Discharge in a Pilot for Ignition and Flame Control. // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 64–66.
27. **Tropina A.A.** Three-Temperature Model of Nonequilibrium Air Plasma // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 67–69.
28. **Matveev I., Serhiy S., Mostipanenko A.** CFD Calculations of Reverse Vortex Reactive Flows // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 70–72.
29. **Amouroux J., Dresvin S., Ivanov D.** Mathematical Modeling of Argon Plasma in ICP Torch by Non-Equilibrium Model // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 73–75.
30. **Amouroux J., Dresvin S., Ivanov D.** Chemical Reactions in Heat and Mass Transfer between Small Particles and Plasma // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 76–78.
31. **Voytovych D.M.** Numerical Analysis of High-Speed Flows with Combustion of Fuel Ignited by a Plasma Torch // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 79–80.
32. **Bychkov V.L., Chernikov V.A., Kostiuk A.A., Sergienko V.Yu.** Application of Erosive Plasma Generator over Flammable Liquids // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 81–82.

33. **Karpenko E.I., Messerle V.E., Ustimenko A.B.** New Plasma Technologies for Fuels Utilization // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 83–85.
34. **Zhang Kui, Glover David, Harling Alice, Whitehead John Christopher.** Plasma Clean — a Non-Thermal Plasma Approach to Air Quality Improvement // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 86–87.
35. **Piwczyk Bernhard.** New Solar Cell Manufacturing Processes and Equipment Using Atmospheric Plasma Technology // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 88–89.
36. **Karengin A.G., Korolev Yu.D.** Plasma Catalytic Module for Utilization of Oil Residuals Based on High-Frequency Discharge // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 12–13.
37. **Edbertho Leal-Quiros.** Hydrogen Production Using Plasma Torches and Plasmatrons for Plasma Gasification and Plasma Magmavication of Organic and Inorganic Materials // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 14–15.
38. **Carabin Pierre.** Energy from Waste Using the Plasma Resource Recovery System (PRRS) // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 22–23.
39. **Rosocha L., Zollinger M., Elliott M., Matveev I.** Plasma Applications to Utilization of Municipal Solid Waste for Energy: Pollution Control and Fuel Conversion // Proc. of the 3rd Inter. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion (IWEPAC), September 18-21, 2007, Best Western Falls Church Inn, Virginia, USA. — P. 24.