

Экспериментальное исследование электрических и оптических явлений, возникающих в процессе реакции горения двухслойных энергетических конденсированных систем (Zr + CuO + LiF) – (Zr + BaCrO₄ + LiF)

**А. В. Полетаев, Д. Ю. Ковалев, В. В. Просянюк, С. В. Гильберт,
И. С. Суворов, М. И. Кулиш, М. И. Алымов**

Экспериментально исследованы электрические и оптические явления в процессе горения гетерогенных энергетических конденсированных систем (ЭКС) типа (Zr + CuO + LiF) – (Zr + BaCrO₄ + LiF), представляющих собой макет высокотемпературного гальванического элемента (ВГЭ). Установлено, что при горении исследованных систем наблюдается импульсный электрический сигнал длительностью на полуширине ~ 1,0 с. Максимальное значение амплитуды сигнала достигает величины 1,2 – 1,5 В. Электрический сигнал возникает в начале горения и продолжается до окончания реакции. Впервые зарегистрирован спектр излучения пламени в видимой области спектрального диапазона ($\lambda \sim 300 - 700$ нм) при горении данных систем. Проведён рентгенофазный анализ исходных компонентов источника носителей заряда (анода) и приёмника носителей заряда (катода), продуктов горения электродов и макета ВГЭ. Создана экспериментальная установка для синхронной регистрации ряда физических характеристик конденсированных энергетических систем в процессе горения. Разработана методика регистрации электрических сигналов и оптических спектров излучения в процессе горения.

Ключевые слова: горение, спектры излучения, энергетические конденсированные системы (ЭКС), высокотемпературный гальванический элемент (ВГЭ).

Введение

Прямое преобразование химической энергии ЭКС в процессе горения в электрическую является одной из важных и актуальных задач современной науки [1 – 6]. Эта задача определяет необходимость проведения экспериментальных и теоретических исследований физических процессов, протекающих при горении ЭКС. Одним из таких процессов, является самораспространяющийся высокотемпературный синтез [1]. В [2] приведены электрические характеристики батарей ВГЭ, выполненных из ЭКС различного химического состава.

Цель настоящей работы — экспериментальное исследование поведения двухслойных ЭКС (Zr + CuO + LiF) – (Zr + BaCrO₄ + LiF) [3] в процессе горения.

Методика проведения экспериментов и приготовления образцов

Схема установки для проведения экспериментов представлена на рис. 1.

Образец для проведения экспериментальных исследований представлял собой сборку из двух дисков, контактирующих между собой (рис. 1). Диски были изготовлены из ЭКС различного химического состава. Гетерогенная система №1 имела состав: Zr + CuO + LiF (5), система №2 — Zr + BaCrO₄ + LiF (6). Размер диски (катодного и анодного элементов) — диаметр ~ 14 мм и толщина ~ 0,5 мм. Эксперименты проводили на воздухе, при давлении 1 атм. Для поджига образца использовали иницирующую ленту (4), прокатанную из смеси Ti + 2 В, которую воспламеняли нагретой вольфрамовой спиралью.

Такая схема позволяла разнести процессы поджига и горения систем во времени и тем самым исключить возможные электрические наводки при измерении электрических сигналов, так как времена начала горения образца, возникновения электрического сигнала t_s , и момент воспламенения ленты t_p отличались на время \sim на 100 мс. Эксперименты проводили на воздухе или в атмосфере инертного газа (аргона) при давлении до 1–6 МПа.

Электрические сигналы от металлических электродов (рис. 1), подавали на дифференциальные входы многоканального АЦП типа А17-U8, имеющего входное сопротивление 100 кОм, частоту дискретизации 50 кГц. Полученные данные, в режиме *on-line*, записывали на жёсткий диск ПК. Анализ и обработка полученных экспериментальных результатов проводилась в режиме *of-line* с помощью лицензионной программы ZetLab.

Исследование структуры и состава исходного образца и полученного после горения продукта проводили с помощью рентгенофазового дифрактометра Дрон-3М. Оптические спектры излучения пламени в процессе реакции горения энергетических конденсированных систем регистрировали с помощью спектрометра типа CCS100M в диапазоне 300–700 нм, разрешение составляло \sim 0,5 нм.

Компоненты составов, использованные в настоящей работе для приготовления ЭКС (оксид меди и фторид лития), предварительно измельчали в вибрационных мельницах. Цирконий и барий хромовокислый подвергали только контрольному просеиванию. Площадь удельной поверхности измельчённого тонкодисперсного порошка оксида меди составляет 2400 см²/г при среднем размере частиц 4 мкм, фторида лития — 2300 см²/г и 11 мкм, циркония — 2000 см²/г и 4 мкм, бария хромовокислого

— 6000 см²/г при среднем размере частиц 2 мкм. В качестве минерального связующего вещества в электродах из ЭКС применяли хризолитовый асбест (волокнистый гидросиликат магния) с теоретической формулой $3 \text{MgO} + 2 \text{SiO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ с толщиной волокон 0,01–0,1 мм и длиной \sim 0,2–4 мм. Эти характеристики обеспечиваются прокаливанием, расчёсыванием и рубкой материала, что необходимо для удаления органических примесей, которые существенно снижают эффективность малогазовых композиций. Применение асбеста в применяемых ЭКС обеспечивает минимальный объём газообразных продуктов горения и технологическую возможность получения плоских пластин толщиной \sim 0,5 мм, которые формовали вакуумным осаждением водной взвеси компонентов. При такой операции происходит переплетение волокон асбеста и порошкообразных компонентов с образованием структуры, подобной бумаге или тонкому шиферу. Механические характеристики полученных изделий после высушивания определяются преимущественно прочностью, гибкостью, количеством, длиной и диаметром волокон наполнителя, то есть асбеста. Необходимая равномерность распределения всех компонентов, как по площади, так и по толщине образцов достигается режимами перемешивания водной взвеси и скоростью удаления жидкой фазы. Пластины в дальнейшем использовали для изготовления элементов, в виде плоских дисков.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Проведены измерения электрических сигналов, возникающих в процессе горения ЭКС. Зависимость величины и формы электрического сигнала макета ВГЭ от времени, представлена на рис. 2.

Как следует из рис. 2, нарастание амплитуды до максимального значения происходит за время \sim 0,24 с, её максимальное значение составляет \sim 1430 мВ,

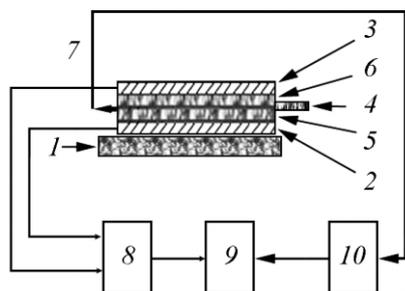


Рис. 1. Схема установки для проведения экспериментов: 1 – основание; 2, 3 – металлические электроды; 4 – иницирующая горение лента; 5 – энергетическая конденсированная система № 1; 6 – энергетическая конденсированная система № 2; 7 – опволоконный кабель; 8 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП) типа А17-U8; 9 – ПК; 10 – спектрометр CCS100M.

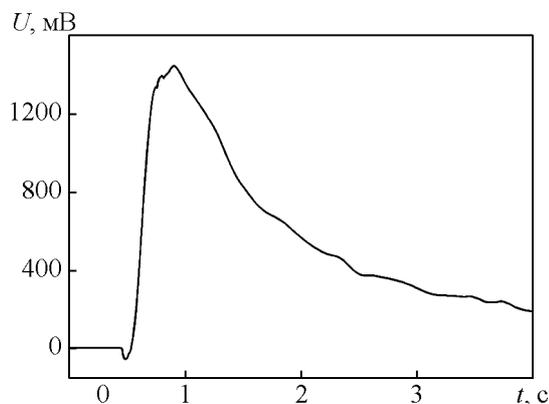


Рис. 2. Зависимость амплитуды электрического сигнала от времени для макета ВГЭ.

длительность сигнала на полуширине $\sim 1,1$ с. После достижения максимального значения величина сигнала монотонно уменьшается практически до нуля. Необходимо отметить, что в начале реакции горения мы наблюдали сигнал противоположной полярности с амплитудой $\sim 55 - 100$ мВ.

Для получения информации о кристаллографической структуре, составе исходных компонентов ЭКС и продуктов горения были проведены рентгенофа-

зовые исследования исходного состава компонентов и продуктов горения. На рис. 3а представлена рентгенофазовая диаграмма ЭКС № 1 ($Zr + CuO + LiF$).

Как следует из рис. 3а, в исходной системе № 1 содержится $\sim 28,3\%$ циркония, $\sim 55,7\%$ оксида меди и $\sim 16,0\%$ фторида лития. В процессе горения катодного элемента происходит образование диоксида циркония моноклинной и тетрагональной модификаций, меди и закиси меди. При достижении

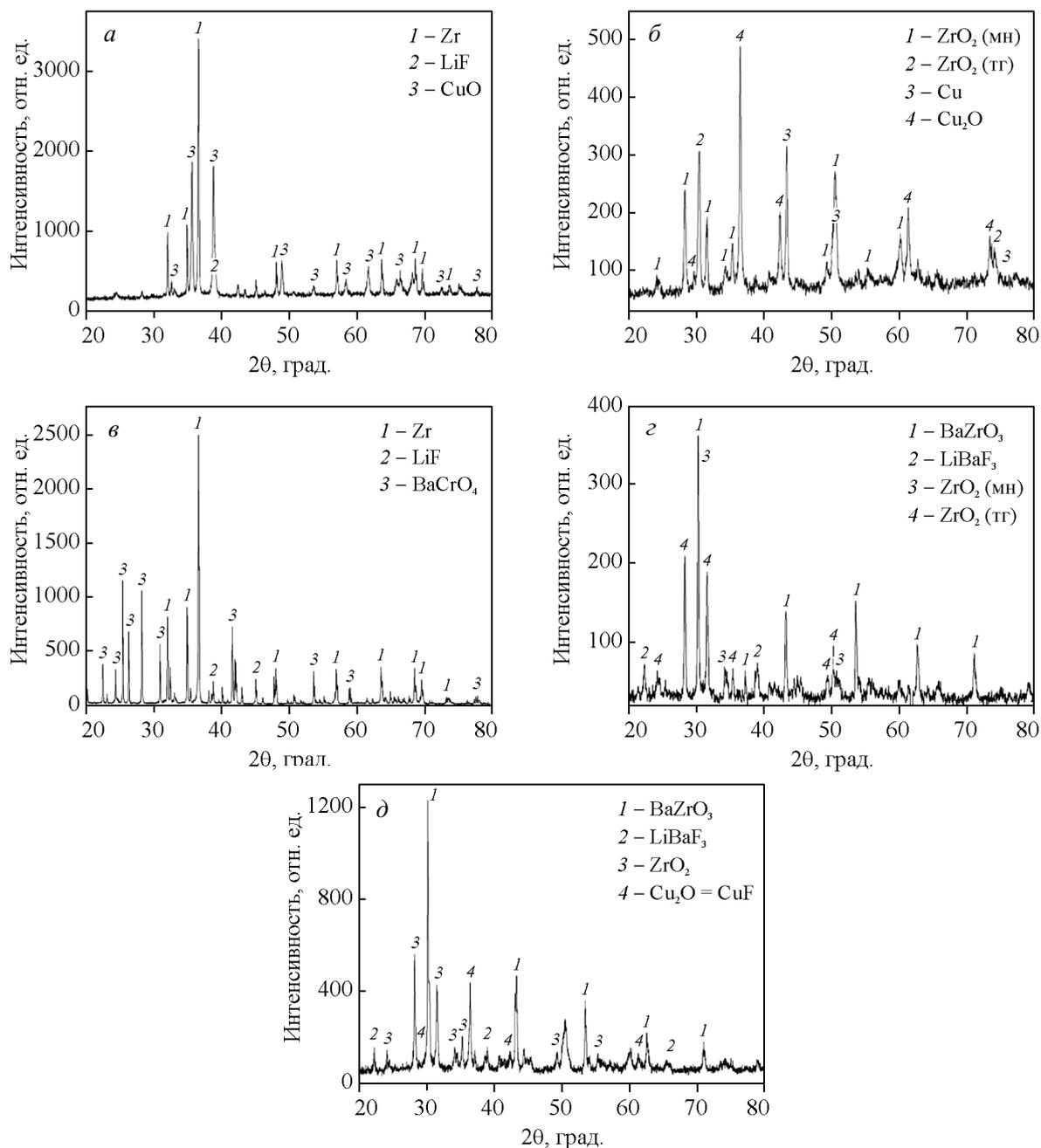


Рис. 3. Рентгенофазовые диаграммы: а – исходной системы № 1, б – продуктов горения системы № 1, в – исходной системы № 2, z – продуктов горения системы № 2, д – продуктов горения двухслойных энергетических систем.

температуры плавления происходит частичное испарение фторида лития.

На рис. 3в, 3г приведены рентгенофазовые диаграммы исходного состава и продуктов горения ЭКС № 2.

Как следует из рис. 3в, 3г, в анодном элементе присутствуют ~ 47,3 % циркония, ~ 38,0 % бария хромовокислого и ~ 14,7 % фторида лития, содержание асбеста незначительно. Основными продуктами горения анодного элемента являются диоксид циркония моноклинной и тетрагональной модификаций, цирконат бария и двойная соль фторидов лития и бария. При достижении температуры плавления происходит и частичное испарение фторида лития.

На рис. 3д представлена рентгенофазовая диаграмма продуктов горения, контактирующих между собой анода и катода (макета ВГЭ).

Как следует из рис. 3д, при горении тонких (~ 1 мм) двухслойных энергетических конденсированных систем между газонепроницаемыми металлическими токоотводами происходит образование следующих основных продуктов: BaZrO_3 , LiBaF_3 , ZrO_2 и Cu_2O . Образующиеся пары фторида лития, одновалентного оксида меди и другие газообразные продукты удаляются фильтрацией как по исходному составу, увеличивая скорость горения, так и через шлаки. Возможность их диспергирования в этих условиях ограничена. Скорость горения образца зависит от давления и температуры во фронте горения, фильтрационных характеристик исходных композиций и конденсированных продуктов и т.д.

Наличие металлов, обладающих электронной проводимостью, в продуктах горения анода и катода, контактирующих непосредственно, а также оксида одновалентной меди, обладающего полупроводниковыми свойствами, могут вызывать уменьшение внутреннего сопротивления макета ВГЭ в процессе горения, а импульсный характер электрического сигнала — быстрый (~ 0,2 с) подъём напряжения до максимального значения и монотонное падение напряжения до минимального значения.

Были проведены экспериментальные исследования оптических характеристик пламени макета ВГЭ в видимом спектральном диапазоне длин волн. Измерения оптических спектров излучения проводили с помощью компактного спектрографа CCS100M с рабочим диапазоном 300 – 700 нм и спектральным разрешением 0,5 нм. Излучение от пламени в процессе горения передавалось на вход спектрографа по кварцевому оптическому волокну диаметром 50 мкм. Образцы располагали на расстоянии 10 – 40 см от торца волокна. На спектрографе проводили изме-

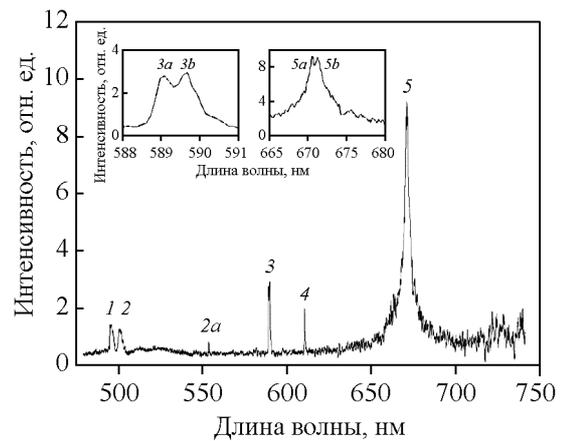


Рис. 4. Спектр излучения пламени двухслойной энергетической системы.

рение спектра излучения в течение времени горения ЭКС. Экспериментальные значения интенсивности наблюдаемых линий сильно различаются, поэтому для увеличения динамического диапазона измерения проводили при разных расстояниях образцов от торца волокна (при разной интенсивности), а полученные спектры стыковали по амплитуде. Спектр излучения пламени ВГЭ представлен на рис. 4.

Линии излучения пламени в процессе химической реакции горения можно идентифицировать с помощью таблиц Зайделя следующим образом: $\lambda_1 = 495,9$ нм (дуплет) можно представить, как излучение Ba 495,7, вторая линия дуплета $\lambda_2 = 501,1$ соответствует линии излучения $\text{Zr} = 501,146$ нм, линия излучения $\lambda_{2a} = 553,5$ нм так же соответствует излучению Ba 553,548 нм, λ_3 — дуплет, состоящий из двух линий: $\lambda_{3a} = 589,0$ нм, можно идентифицировать как излучение Zr , а вторая линия дуплета — $\lambda_{3b} = 589,7$ нм, так как в результате реакции образуется $\lambda_4 = 610,4$ нм (вероятно Ba или Li); $\lambda_{5a} = 670,6$ нм (идентификация: Li 670,684 нм), $\lambda_{5b} = 671,3$ нм идентифицируется как линия излучения Zr .

Из анализа полученных оптических спектров излучения можно сделать вывод о том, что в пламени макета ВГЭ, сгорающего в воздушной среде, наблюдается интенсивное излучение циркония, лития и бария.

Результаты экспериментальных исследований, представленных на рис. 2 – 4, позволяют приблизиться к пониманию физического микро механизма генерирования электрических сигналов в процессе горения ЭКС ($\text{Zr} + \text{CuO} + \text{LiF}$) – ($\text{Zr} + \text{BaCrO}_4 + \text{LiF}$) и оптимизировать технологию изготовления ВГЭ с целью получения его максимальных электрических характеристик.

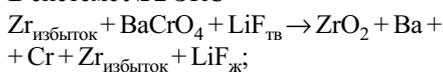
В процессе реакции горения возникает импульсный электрический сигнал, то есть можно предполо-

жить, что в результате горения происходит прямое преобразование химической энергии двухслойных ЭКС, имеющих различный химический состав, в электрическую энергию. При этом цирконий превращается в диоксид циркония, оксид меди — в оксид одновалентной меди и чистый металл, асбест — в силикаты магния, а фторид лития плавится и частично испаряется. Эти выводы подтверждаются термодинамическими расчётами и рентгенофазовой диаграммой продуктов горения, приведенной на рис. 3д.

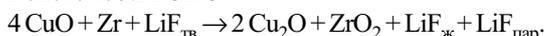
Можно предположить, что в процессе горения в анодном элементе цирконий восстанавливает барий хромовокислый до хрома и бария, образуя диоксид циркония. Пары химически активного металлического бария в зоне горения активно окисляются продуктами реакций и кислородом воздуха, находящегося в порах контактирующих между собой электродных элементов.

Во фронте горения ЭКС и между продуктами горения системы №2 (в электрохимических терминах этот элемент является анодом, то есть отрицательно заряженным электродом) и системы № 1 (в электрохимических терминах этот элемент является катодом, то есть положительно заряженным электродом) протекают следующие основные реакции:

В системе № 2 ЭКС —



в системе № 1 ЭКС —



На поверхности контакта продуктов горения систем, металлический цирконий из анода взаимодействует с монооксидом меди в катоде с выделением дополнительного количества тепла, а плавление и испарение фторида лития в катоде протекают более активно, чем в аноде. Это обусловлено более высокой удельной калорийностью катодной ЭКС, чем анодной (> 2250 и < 2100 кДж/г), и более полной дегазацией летучих примесей из компонентов. Об этом свидетельствуют размеры и форма пор в конденсированных продуктах горения макета ВГЭ, а также плотность и характер распределения конденсата белого и красного цвета на металлической подложке (фторида лития и оксида одновалентной меди соответственно).

Расплавленный фторид лития в процессе реакции обеспечивает ионный электрический контакт между продуктами горения электродных композиций и возможность электрохимического окисления металлов в аноде и восстановления оксида одновалентной меди в катоде. В результате на электродах устанавливаются электродные потенциалы, и разность потенциалов на контактах макета ВГЭ. Анодный

потенциал определяется суммой парциальных реакций металлов с расплавом фторида лития (является компромиссным). Схема основных электрохимических реакций, протекающих на аноде:

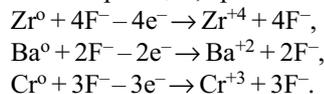
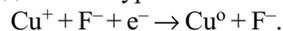
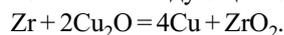


Схема основной катодной реакции может быть представлена уравнением:



Суммарная электрохимическая реакция может быть записана следующим образом:



При горения двухслойных макетов ВГЭ, различного химического состава, электрохимические реакции, протекающие в ЭКС приводят к генерации импульсных электрических сигналов, амплитудой до $\sim 1,5$ В и длительностью на полуширине ~ 1 с. Необходимо отметить, что физические механизмы этих процессов, требуют проведения дальнейших экспериментальных и теоретических исследований.

Выводы

1. Создана уникальная экспериментальная установка для изучения электрических и оптических явлений, протекающих при горении тонких двухслойных энергетических конденсированных систем.

2. Проведены рентгенофазовые исследования исходных компонентов и продуктов горения двухслойных гетерогенных энергетических систем. Установлено, что основными продуктами горения двухслойных гетерогенных энергетических систем являются: BaZrO_3 , LiBaF_3 , ZrO_2 и Cu_2O .

3. Впервые в практике экспериментальных исследований ЭКС ($\text{Zr} + \text{CuO} + \text{LiF}$) - ($\text{Zr} + \text{BaCrO}_4 + \text{LiF}$) непосредственно в процессе горения получены оптические спектры пламени. Показано, что основной вклад в излучение вносят цирконий, барий и литий.

4. Установлено, что в процессе горения изученных двухслойных макетов ВГЭ происходит генерирование импульсных электрических сигналов, амплитудой $\sim 1,5$ В и длительностью на полуширине $\sim 0,5$ с.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 14-08-00043.

Литература

- 1 Морозов Ю.Г., Кузнецов М.В., Нерсесян М.Д., Мержанов А.Г. Электрохимические явления в процессах самораспространяющегося высокотемпературного синтеза ДАН, 1996, т. 351, № 6, с. 780 – 782.

2. Просьянюк В.В., Суворов И.С., Сигейкин Г.И., Куликов А.В. Пиротехнические источники тока — новый класс устройств резервной электроэнергетики. Российский химический журнал, 2006, т. L, № 5, с. 113 – 119.
3. Варёных Н.М., Емельянов В.Н., Просьянюк В.В., Суворов И.С. Пиротехнический источник электрического тока. Патент РФ №2320053, МПК H01M 4/66; H01M 6/36. Опубликовано 20.03.2008. Бюлл. № 8.
4. Филимонов И.А., Кидин Н.И. Высокотемпературный синтез горением, генерация внутренних и воздействие внешних электромагнитных полей (обзор). Физика горения и взрыва, 2005, т. 41, № 6, с. 34 – 53.
5. Markov A. A., Filimonov I.A., Poletaev A.V., Vadchenko S.G., Martirosyan K.S. To the Combustion synthesis of sulfides: the mutually related electric and thermal structures in the distributed reaction systems; Violation of the interphase electric neutrality. Int. J. of Self Propagating High-Temperature Synthesis, 2013, v. 22, No. 2, p. 43 – 47.
6. Barinov V. Yu., Poletaev A.V. and Shcherbakov V. A. SHS Reaction in Zn–S Powder Blends under Quasi-Isostatic Pressure. Int. J. of Self-Propagating High-Temperature Synthesis, 2013, v. 22, no. 1, p. 23 – 31.
- synthesis processes samorasprostanayuschegosya]. DAN — Doklady Physical Chemistry, 1996, vol. 351, no. 6, pp. 780 – 781.
2. Prosjanyk V.V., Suvorov I.S., Sigeyikin G.I., Kulikov A.V. Pirotehnicheskie istochniki toka – noviy kllass ustroystv rezervnoy elektroenergetiki [Pyrotechnic power sources — a new class of devices for backup electricity]. Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal — Russian Chemical Journal (in Rus), 2006, vol. L, no. 5, pp. 113 – 119.
3. Varenih N.M., Emeljanov V.N., Prosjanyk V.V., Suvorov I.S. Pirotehnicheskiy istochnik toka [Pyrotechnic source of electric current], Patent RF 2320053, MPK H01M 4/66; H01M 6/36. 20.03.2008, bul. no. 8.
4. Filimonov I.A., Kidin N.I. Visotemperaturniy sintes gorenem, generazija vnutrennih i vozdeystvie vneshnih elektromagnitnih poley (obzor) [Burning high-temperature synthesis, the generation of internal and external exposure to electromagnetic fields (review)]. Fizika goreniya i vzryva — Combustion, explosion and shock waves, 2005, vol. 41, no. 6, pp. 34 – 53.
5. Markov A.A., Filimonov I.A., Poletaev A.V., Vadchenko S.G., Martirosyan K. S. To the combustion synthesis of sulfides: the mutually related electric and thermal structures in the distributed reaction systems; Violation of the interphase electric neutrality. Int. J. of self-propagating high-temperature synthesis, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 43 – 47.
6. Barinov V.Yu., Poletaev A.V., Shcherbakov V.A. SHS reaction in Zn–S powder blends under quasi-isostatic pressure. Int. J. of self-propagating high-temperature synthesis. 2013, vol. 22, no. 1, pp. 23 – 31.

References

1. Morozov Y.G., Kuznezov M.V., Nersesjan M.D., Merjanov A.G. Elektrohimiicheskie javleniya v prozessah samorasprostranjayuchegosja visokotemperaturnogo sintesa, [Electrochemical phenomena in high-temperature

Статья поступила в редакцию 3.12.2014 г.

Полежаев Александр Васильевич — Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН (142432, Московская область, г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, д.8), кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, специалист в области физики твёрдого тела, физики ударно-волновых процессов. E-mail: polav@ism.ac.ru.

Ковалев Дмитрий Юрьевич — Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН (142432, Московская область, г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, д.8), кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией, специалист в области рентгеновского анализа, структурной макрокинетики.

Просьянюк Вячеслав Васильевич — Научно исследовательский институт прикладной химии (141313, Московская область, г. Сергиев Посад, ул. Академика Силина, 3), кандидат технических наук, начальник отдела, специалист в области горения и взрыва.

Гильберт Сергей Владимирович — Научно исследовательский институт прикладной химии (141313, Московская область, г. Сергиев Посад, ул. Академика Силина, 3), ведущий инженер, специалист в области горения и взрыва.

Суворов Иван Степанович — Научно исследовательский институт прикладной химии (141313, Московская область, г. Сергиев Посад, ул. Академика Силина, 3), кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, специалист в области горения и взрыва.

Кулиш Михаил Иванович — Институт проблем химической физики РАН (142432, Московская область, Черноголовка, ул. Лесная, д. 9), кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, специалист в области ударно волновых процессов.

Альмов Михаил Иванович — Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН (142432, г. Черноголовка, Московская область, ул. Академика Осипяна, д.8), доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, специалист в области порошковой металлургии, физики ударно волновых процессов.

Experimental study of electrical and optical phenomena under combustion of double-layer energetic condensed systems (Zr + CuO + LiF)/(Zr + BaCrO₄ + LiF)

A. V. Poletayev, D. Yu. Kovalev, V. V. Prosyanyuk, S. V. Gilbert, I. S. Suvorov, M. I. Kulish, M. I. Alymov

This paper deals with the experimental study of electrical and optical phenomena in the process of combustion of heterogeneous energetic condensed systems (ECS) type (Zr + CuO + LiF) – (Zr + BaCrO₄ + LiF), representing the layout of the high-temperature electrochemical cell (VGE) [3]. As a result of experimental studies, it was found that the combustion systems studied there pulsed electrical signal duration at half-width of ~ 1.0 s. The maximum value of the signal amplitude reaches 1.2 – 1.5 V. found that an electrical signal at the start of combustion occurs and lasts until the end of the reaction. First registered flame emission spectrum in the visible spectral range ($\lambda \sim 300 - 700$ nm) in combustion systems mentioned. Held x-ray phase analysis of the original source components of the charge carriers (anode) and the receiver of the charge carriers (the cathode), the products of combustion of the electrodes and the layout VGE. An experimental setup for simultaneous recording of a number of physical properties of condensed energy systems in the combustion process. The technique of recording electrical signals and optical emission spectra in the combustion process.

Keywords: burning, emission spectra, energy condensed systems, high-temperature electrochemical cell.

Poletaev Alexandr — Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science RAS (8, Academician Osipyan str., Chernogolovka, Moscow region, 142432, Russia), PhD (phys-math), senior researcher, specialist in solid state physics of pulsed-wave processes, polav@ism.ac.ru.

Kovalev Dmitry — Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science RAS (8, Academician Osipyan str., Chernogolovka, Moscow region, 142432, Russia), PhD (phys-math), head of laboratory, specialist in X-ray analysis and structural macrokinetics, structural factors in combustion synthesis of materials sciences.

Prosyanyk Vladimir — Institute of applied chemistry (3, Academician Silin str., SergievPosad, Moscow region, 141313, Russia), PhD (eng), head of department, specialist in physics of combustion and explosion.

Gilbert Sergey — Institute of applied chemistry (3, Academician Silin str., SergievPosad, Moscow region, 141313, Russia), chief engineer, specialist in physics of combustion and explosion.

Suvorov Ivan — Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science RAS (8, Academician Osipyan str., Chernogolovka, Moscow region, 142432, Russia), PhD (eng), leading researcher, specialist in physics of combustion and explosion.

Kulisch Mixail — Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science RAS (1, Academician Semenov str., Chernogolovka, Moscow region, 142432, Russia), PhD (phys-math), senior researcher, specialist in solid state physics of pulsed-wave processes.

Alymov Mikhail — Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science RAS (8, Academician Osipyan str., Chernogolovka, Moscow region, 142432, Russia), Director, DrSci (Eng), professor, corresponding member of RAS, specialist in powder metallurgy, synthesis and modification of materials under high dynamic pressures.