

Резервные химические источники тока, предназначенные для работы в режиме ожидания, занимают особое место в номенклатуре средств автономной электроэнергетики. В наиболее массовых тепловых (разогревных) и ампульных устройствах электролит является диэлектриком, или его хранят отдельно, что обеспечивает термодинамическую устойчивость электрохимических систем (отсутствие саморазряда и ухудшение характеристик) при длительном хранении в течение 15...25 лет, и исключает необходимость проведения регламентных работ. Это незаменимо для автономного питания приборов и систем высокоточных, управляемых и корректируемых боеприпасов, ракетно-космической техники (РКТ), спасательной техники МЧС, противопожарных устройств, охранной сигнализации и т.д. В 80-е годы XX века были практически исчерпаны их технические возможности, и начался интенсивный поиск других новых источников питания. Необходимость совершенствования военной электроэнергетики обусловлена изменениями, происходящими как в тактике ведения боевых операций, так и характере, защитных свойствах, степени уязвимости и насыщенности целей, имеющих на поле боя. Кроме того, современные условия эксплуатации боеприпасов выдвигают на передний план решение принципиально новых задач, связанных со случайными и преднамеренными воздействиями техногенных, природных и человеческих факторов в аварийных ситуациях при повседневной и боевой эксплуатации оружия. С ростом интеллектуального потенциала бортовой аппаратуры и усложнением средств радиоэлектронной борьбы проблема создания миниатюрных резервных источников электрической энергии и блоков питания на их основе становится всё более актуальной. В ОАО «ФНПЦ «НИИ прикладной химии» созданы новые резервные источники тока, способные генерировать электрический ток в режиме горения. Эта задача была решена созданием условий для образования в сгорающих зарядах из энергетических конденсированных систем (ЭКС) высокотемпературного гальванического пиротехнического элемента (ЭГП). ЭГП представляет собой тонкий многослойный заряд, выполненный из разнородных ЭКС, которые выполняют функции электродов и электролита с высокой ионной проводимостью. Электрические характеристики пиротехнических источников тока (ПИТ) определяются активностью горючего и окислителя в продуктах сгорания пиротехнических электродов, а также электропроводностью расплавленного электролитного материала. ПИТ могут быть приведены в действие воспламенителями всех видов, продуктами сгорания порохов и топлив при выстреле, внешним нагревом и т.д. [1-2]. Уникальная особенность ПИТ в том, что они способны преобразовывать огневые сигналы в электрические и наоборот, дублировать электрические цепи огневыми. Это позволяет использовать их как в виде универсальных источников питания, так и создавать на их основе средства пироматерики и пироэнергодатчики нового поколения в виде систем,

объединенных в одном корпусе, или разнесённых в пространстве. Эти системы могут включать в себя как электрические и электромеханические устройства, элементы электроники, интегральные схемы, изделия нано- и микросистемной техники, так и пиротехнические изделия (замедлители, газогенераторы, пиротехнические резак, механизмы раскрытия кассет). ПИТ не имеют зарубежных аналогов, защищены патентами РФ, отмечены медалями и дипломами на международных выставках изобретений. Основными преимуществами этих источников питания являются малое время активации, простота конструкции, высокая надёжность работы, универсальность по способу приведения в действие, возможность придания изделиям любой геометрической формы. Из современных резервных источников тока ПИТ наиболее миниатюрны (объём может быть менее 1 см³). Они имеют минимальную стоимость и самую высокую удельную мощность, не требуют регламентных проверок и обслуживания в течение всего гарантийного срока не менее 25 лет при температуре окружающей среды от минус 60 до + 85оС, что в полной мере соответствует периоду жизненного цикла всех объектов применения. ПИТ работоспособны в любой пространственной ориентации во время и после воздействия проникающих (ионизирующих) и электромагнитных излучений от специальных установок и факторов космического пространства. Они являются стойкими к транспортным и эксплуатационным перегрузкам (вибрационным, ударным, линейным и тангенциальным). Основные характеристики ПИТ (время активации и работы, напряжение, сила тока и другие) не зависят от давления окружающей среды – надёжно функционируют как при разрежении (в том числе в условиях открытого космоса), так и в объектах с избыточным давлением. Они могут быть выполнены без собственного корпуса и размещены в камерах сгорания двигателей управляемых и неуправляемых ракет, боеприпасов ближнего боя, вышибных зарядов РСЗО с температурой продуктов сгорания до 2500оС и давлением до 50 МПа, что существенно улучшает удельные характеристики, как источников тока, так и бортовой аппаратуры. В этом случае инициирующий импульс воспринимает вся боковая поверхность набора ЭГП, практически мгновенно происходит инициирование и сгорание зарядов, обеспечивающее время активации менее 0,1 с. Одновременно с этим происходит быстрый нагрев металлических токоотводов, обеспечивающих последовательное или параллельное соединение ЭГП. Это значительно уменьшает интенсивность отвода тепла из зоны высокотемпературных электрохимических реакций и критическую толщину ЭГП до ~ 0,2 мм, что способствует миниатюризации изделий и улучшению их габаритно-массовых характеристик. Специфика ПИТ в том, что генерирование тока протекает при градиентах температуры ~ 1000 град/с при воспламенении и 20...30 град/с во время работы. Температура в зоне горения ~ 1500 К и активные электродные материалы (цирконий и оксид меди) обеспечивают высокую удельную мощность.

При сгорании ЭГП расходуются активные электродные материалы - горючее в аноде и окислитель в катоде, что снижает ёмкость источника тока. Наличие легкоплавкого электролита (до 15% по массе) существенно усложняет воспламеняемость, снижает скорость горения, уменьшает концентрационные пределы горючести и увеличивает критическую толщину зарядов.

Максимальные электрические характеристики и их стабильность могут быть получены только при компромиссных условиях, обеспечивающих стабильный режим горения и протекание электрохимических процессов до кристаллизации расплавленного электролита, или израсходования горючего и (или) окислителя в электродах. Механизмы горения ЭГП - тонких многослойных зарядов в условиях интенсивного отвода тепла и генерирования тока изучены недостаточно.

Процесс воспламенения тонких зарядов, содержащих электролитный материал, усложнён его плавлением. Значительная часть подводимого к заряду тепла от инициирующего импульса расходуется на плавление электролита - происходит интенсивный отток тепла в плавящиеся частицы, приводящий к образованию участков с постоянной температурой, так как почти вся тепловая энергия, как подводимая от инициатора, так и выделяющаяся при сгорании зарядов, расходуется на плавление. Прохождение фронта горения по ЭГП не означает завершения окислительно-восстановительных процессов. Они продолжаются между продуктами сгорания анода и катода - происходит восстановление окислителя в катоде и окисление горючего в аноде в диффузионном режиме. Газообразные продукты разложения оксида меди в катоде окисляют разогретый до высокой температуры цирконий в аноде. Дополнительное выделение тепла этих реакций уменьшает критическую толщину ЭГП и позволяет улучшить удельные характеристики батарей. Энергоёмкость ПИТ может быть увеличена применением более активных электродных и электролитных материалов и повышением полноты их использования. Указанная проблема может быть решена путем целенаправленного изменения (модифицирования) структуры и свойств электролитных материалов, горючих и окислителей, получения эвтектики из смеси солей (фторидов лития, кальция и магния) в виде электролитных механокомпозитов и т.д. Реальным направлением повышения характеристик ПИТ является снижение химических и тепловых потерь, связанных с процессами пассивации электродов при протекании высокотемпературных электрохимических реакций между электродами - продуктами сгорания тонких зарядов с избытком металла в аноде и избытком окислителя в катоде. Успешное решение этих задач равноценно разработке композиций с более высокими энергомассовыми характеристиками. Одним из способов повышения уровня реализации энергетических возможностей ЭКС и улучшения характеристик изделий может быть перевод компонентов в ультра - и нанодисперсное состояние. Следует учитывать, что это приводит не только к значительному увеличению их химической активности, но и к росту

чувствительности ЭКС к удару, трению и разрядам статического электричества (электрической искре), ухудшению технологических показателей, необходимости создания и внедрения новых для отрасли методов диагностики и контроля качества наноконпонентов и ЭКС на их основе [3]. Модернизация существующих и создание новых боеприпасов различного назначения, ВВСТ и РКТ обуславливают необходимость совершенствования и создания новой бортовой электроэнергетики и средств пироматериалов на её основе. ПИТ могут приводить в действие разогревные источники тока большой ёмкости, что позволяет создавать «гибридные» резервные источники питания, способные генерировать электрический ток силой в несколько ампер в течение 10...15 мин при малом времени активации с универсальным задействованием и т.п. Блоки питания на основе ПИТ и конденсаторов электрической энергии могут обеспечивать работу устройств, для которых необходимы импульсы электрического тока до 100 кА, способные обеспечивать электрический взрыв проводников, генерировать потоки плазмы, ударные волны, микросекундные воздействия заданной интенсивности на преграды и т.д. Это позволяет проектировать высокоточные замедлители, программируемые электронные переключатели, безопасные (не содержащие первичных взрывчатых веществ) автономные системы инициирования, устойчивые к воздействию на них техногенных, природных и человеческих (в том числе диверсионно-террористических) факторов, надёжные и высокоточные системы замедления и т.д. Блоки питания на основе ПИТ и ионисторов находят применение для питания слаботочных приборов и систем, предназначенных для работы в экстремальных ситуациях при выходе из строя штатных источников тока. ПИТ находят применение для комплектации [4-5]: - КБЧ РСЗО и боеприпасов ближнего боя (приводятся в действие воздействием продуктов сгорания порохов и топлив с температурой до 2500°С и давлением до 50 МПа); - неконтактных взрывателей управляемых, корректируемых и высокоточных авиационных, артиллерийских и других боеприпасов (являются стойкими к интенсивным знакопеременным механическим нагрузкам); - орбитальных космических аппаратов с длительными сроками активного существования (выдерживают воздействие вакуума и других факторов космического пространства); - энергоемких потребителей (обеспечивают питание средств РЭБ, активных помех и других мощных излучателей на высоте ~ 25 км); - средств снижения заметности (приводят в действие маскирующие устройства и системы по заданной программе). Для создания ПИТ и блоков питания на их основе с улучшенными характеристиками для комплектации перспективной бортовой аппаратуры ВВСТ, РКТ и МЧС необходимо проведение комплексных исследований: - процессов воспламенения и сгорания тонких многослойных зарядов, содержащих легкоплавкий электролит при организованном отводе тепла из зоны горения; - механизма высокотемпературных электрохимических

процессов в волне горения ЭГП и в остывающих шлаках; - влияния воздействия экстремальных механических нагрузок, температур, давлений, электромагнитных и проникающих излучений на разрабатываемые устройства при эксплуатации объектов (в момент выстрела, при нахождении их на траектории, встрече с целью и за преградой, в аварийных ситуациях и т.д.); - стабильности характеристик ПИТ (собственные шумы, подкоротки и т.д.) в условиях воздействия перегрузок, излучений и т.п. Вывод Технические решения, на основе которых производится проектирование, разработка и серийное производство, содержат значительный модернизационный потенциал для целенаправленного совершенствования характеристик ПИТ и их адаптивность к решению специальных задач в интересах широкого круга потребителей. Средства пироматерики нового поколения на основе ПИТ обеспечивают возможность выполнения полётных заданий, создания управляемых полей поражения, безопасных автономных многоцелевых средств многоточечного инициирования и т.д.