

УДК 621.355

СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ МЕХАНИЧЕСКИ ПЕРЕЗАРЯЖАЕМЫХ ВОЗДУШНО-АЛЮМИНИЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА БОЛЬШОЙ УДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГОЁМКОСТИ

В. М. Алашкин, С. Д. Севрук*, В. Г. Удальцов*, А. А. Фармаковская*

ФГУП НПК «АльтЭн», Электроугли, Россия

*Московский авиационный институт, Россия

Поступила в редакцию 23.04.06 г.

В статье представлены результаты исследований и разработок воздушно-алюминиевых химических источников тока, осуществленных совместно Московским авиационным институтом и ФГУП НПК «АльтЭн», приведены области эффективного применения этих источников энергообеспечения, показана технологическая схема утилизации продуктов реакции и регенерации отработанного электролита.

In the paper are presented results of studies and design of air-aluminum chemical power sources carried out jointly by Moscow Aircraft Institute and AltEn Corp.; several fields of effective application of these power sources are listed, a technological scheme of reaction product utilization and waste electrolyte regeneration is shown.

Среди всего многообразия разрабатываемых химических источников тока (ХИТ) свою нишу имеют высокоэффективные автономные энергоустановки (ЭУ) на базе механически перезаряжаемых ХИТ электрохимической системы кислород-алюминий с водными электролитами. Поскольку в большинстве случаев наземного применения используется кислород воздуха, эти источники обычно называют воздушно-алюминиевыми (ВА).

ВА ХИТ обладают одним из наиболее высоких значений теоретической удельной энергии, что иллюстрируется данными, приведёнными в таблице.

Энергетические характеристики наиболее эффективных анодных компонентов (горючих) в электрохимических системах с кислородом в качестве катодного компонента (окислителя)

Горючее	Стандартный электродный потенциал горючего, В	Стандартная удельная энергия горючего, МДж/кг	Относительная распространенность горючего в природе, мас. %
H ₂	1.23	119.0	1.0
Be	3.01	64.2	6·10 ⁻⁴
Li	3.045	42.3	6.57·10 ⁻³
Al	2.72	29.16	8.8
Mg	2.363	18.77	2.1
Na	2.714	11.39	2.64
Zn	0.76	2.24	1.57·10 ⁻³

Как видно, алюминий занимает третье место среди металлических горючих по теоретической удельной энергии. Применение бериллия из-за его токсичности крайне маловероятно, поэтому можно считать, что алюминий по теоретической энергоёмкости уступает только литию и водороду. В то же время он занимает первое место по содержанию в земной коре и является одним из наиболее дешёвых,

технологичных и безопасных материалов, что делает его перспективным материалом для разработки высокоэффективных ХИТ. Действительно, разрабатываемые в настоящее время ХИТ и ЭУ на основе электрохимической системы кислород (воздух)-алюминий с водными электролитами по своим удельным энергомассовым и энергообъёмным показателям уступают лишь O₂/H₂ топливным элементам (ТЭ) с криогенным хранением компонентов и некоторым типам ХИТ с литиевым анодом.

Расчётные оценки и накопленный нами к настоящему времени опыт разработок показывают, что в этих установках в зависимости от мощности, времени разряда, применяемого электролита и конструктивного исполнения может быть реализована удельная энергия по массе 720–3060 кДж/кг (200–850 Вт·ч/кг) и 900–3600 кДж/л (250–1000 Вт·ч/л) по объёму.

В статье представлены результаты исследований и разработок ВА ХИТ, осуществляемых совместно Московским авиационным институтом (МАИ) и ФГУП «Научно-производственный комплекс Альтернативная энергетика» (НПК «АльтЭн») Федерального космического агентства. В последнее время к кооперации успешно присоединился научно-технологический центр энергосберегающих процессов и установок Объединённого института высоких температур Российской Академии наук — НТЦ ЭПУ ОИВТ РАН. За более чем 30-летний период выполнен огромный объём экспериментальных, теоретических и проектных работ. В частности, разработаны физико-математические модели, адекватно описывающие рабочие процессы, протекающие в ВА ХИТ, разработаны методики проектных расчётов ЭУ на основе ВА ХИТ, решены вопросы подбора оптимальных для заданных условий эксплуатации композиций рабочих

материалов (анод — электролит), разработаны способы организации рабочих процессов как в батарее элементов, так и во всей ЭУ.

В ВА ХИТ обычно применяются водные солевые или щелочные электролиты. Источники со щелочным электролитом имеют более высокие энерго-массовые и мощностные характеристики, чем с нейтральным солевым электролитом, поэтому в наших исследованиях и разработках им было уделено основное внимание. На рис. 1 представлена принципиальная схема ВА ХИТ со щелочным электролитом с указанием основных рабочих процессов по месту их протекания. Из приведённой схемы процессов ясно, что мы имеем дело с трёхкомпонентной электрохимической системой, в которой расходующимися веществами являются алюминий, вода и кислород. Потребляемая в реакциях вода расходуется из электролита. Следует отметить, что и в токообразующем процессе, и в реакции коррозии образуется один и тот же продукт реакции — гидроксид алюминия.

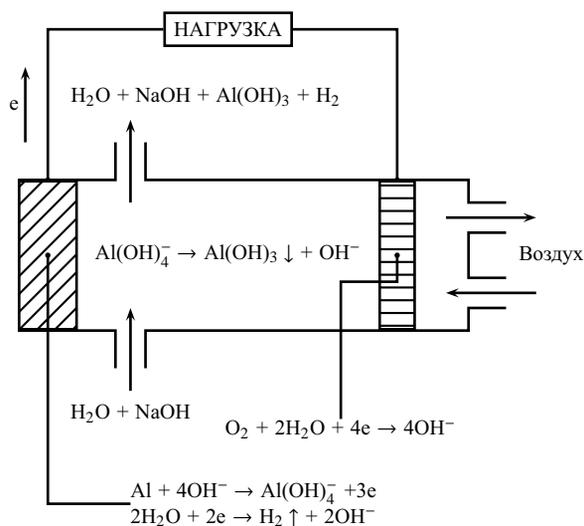


Рис. 1. Схема рабочего процесса в воздушно-алюминиевом химическом источнике тока со щелочным электролитом

В нейтральных солевых электролитах суммарно протекают те же реакции, однако в этих растворах продукт реакции практически нерастворим и сразу выпадает в осадок в виде геля. Кроме того, потенциал алюминия более положителен за счёт сохранения в значительной мере защитных свойств поверхностных оксидных плёнок. В результате наблюдается существенное снижение электрических и энергетических характеристик ВА ХИТ с нейтральными электролитами по сравнению со щелочными.

Образующиеся при работе ВА ХИТ продукты реакции удаляются из элементов непрерывно или периодически. В целях безопасности обычно предусматривается каталитическое или электрохимическое

сжигание водорода. Образовавшаяся при этом вода может быть возвращена в систему.

Что касается гидроксида алюминия, то он экологически абсолютно безопасен, так как представляет собой просто белую глину. Однако более важно, что он легко регенерируется до алюминия по существующей промышленной технологии, являясь полупродуктом в общепринятом цикле производства алюминия по способу Байера. Кроме того, гидроксид алюминия представляет самостоятельную коммерческую ценность, так как в огромных количествах используется в различных отраслях промышленности. Последнее обстоятельство позволяет говорить о возможности создания замкнутого ресурсосберегающего цикла эксплуатации ВА ХИТ, что схематично показано на рис. 2. Поскольку при этом алюминий, по сути, является энергоносителем, можно вести речь об «алюминиевой энергетике» для распределённого энергоснабжения объектов, удалённых от энергосетей.

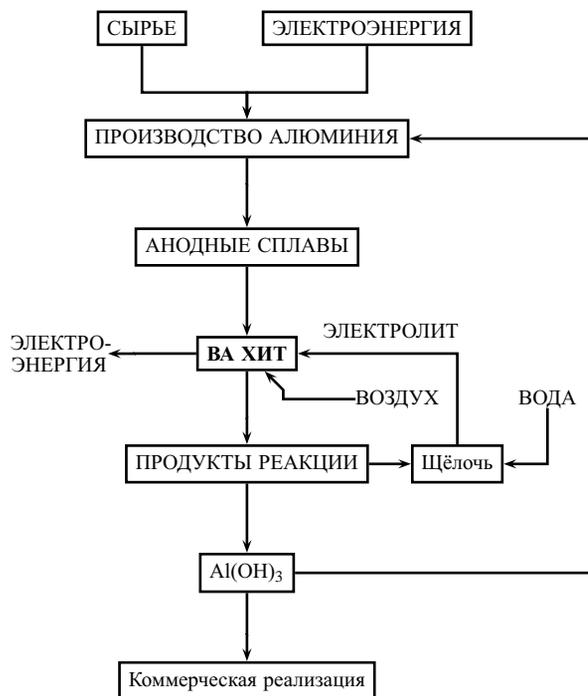


Рис. 2. Алюминиевая энергетика

Так как алюминий не может быть выделен из водного раствора электрохимически, то ВА ХИТ являются типичными первичными источниками с расходующимися металлическими анодами и не могут быть электрически перезаряжены. Однако их легко перезарядить механически после израсходования всего запасённого в аноде алюминия, поэтому ВА ХИТ

иногда называют механически перезаряжаемыми аккумуляторами. Возможность быстрого механического перезаряда в полевых условиях является огромным преимуществом во многих приложениях.

На рис. 3 в наиболее обобщённом виде представлена принципиальная блок-схема ЭУ с ВА ХИТ. Утолщёнными линиями здесь показаны связи между системами ЭУ, обеспечивающие потоки рабочих тел (трубопроводы), а тонкими штрих-пунктирными линиями — информационные связи, обеспечивающие передачу сигналов датчиков и команд управления. Очевидно, что в зависимости от назначения, уровня мощности, применённого электролита конкретная ЭУ может иметь в своём составе лишь часть из указанных на схеме систем, вплоть до вырождения просто в батарею элементов. Последнее характерно для маломощных источников с нейтральным соевым электролитом.

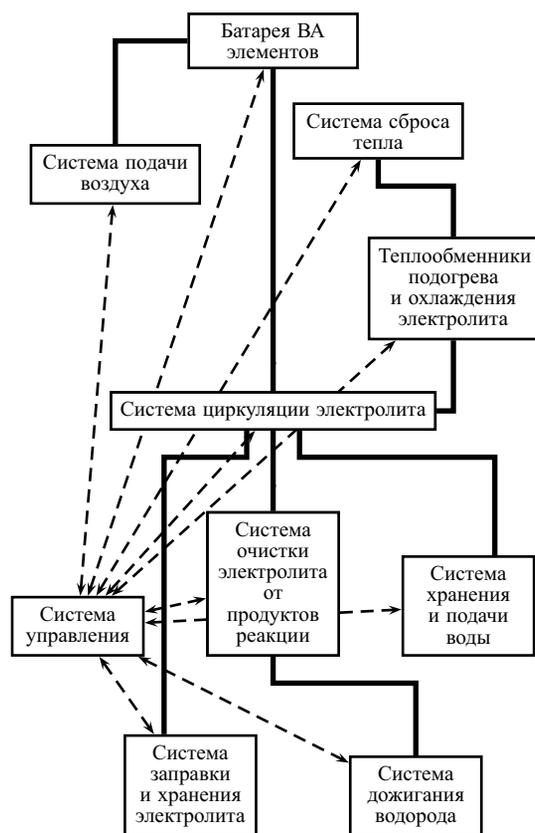


Рис. 3. Обобщенная блок-схема энергоустановки на основе воздушно-алюминиевого химического источника тока с циркулирующим щелочным электролитом

Анализ потребностей в автономных источниках энергии и особенностей условий их эксплуатации позволяет сделать вывод, что ВА ХИТ и ЭУ на их основе могут быть наиболее эффективно использованы в качестве резервных, аварийных или основных источников энергии в телекоммуникационных систе-

мах, для заряда аккумуляторов в отсутствие электросети, в наземных и водных электротранспортных средствах, а также для децентрализованного электрообеспечения удалённых и труднодоступных объектов в качестве индивидуальных источников энергообеспечения. Последнее обусловлено лёгкостью и безопасностью доставки горючего (алюминия) в любую точку всеми видами транспорта и возможностью приготовления электролита непосредственно на месте эксплуатации с использованием воды из любого природного источника.

Очень перспективно применение ВА ХИТ для энергообеспечения малоразмерных дистанционно пилотируемых летательных аппаратов. Такие аппараты уже сегодня эффективно используются в системах мониторинга состояния окружающей среды, для наблюдения за дорожным движением, разведки и подобных областях приложения. В настоящее время нами осуществляется разработка источников питания для этих областей применения.

ФГУП НПК «АльтЭн» совместно с МАИ разработан функциональный ряд модульных ЭУ на основе ВА ХИТ различной мощности. Этот ряд позволяет перекрыть диапазон мощностей от единиц Вт до десятков кВт. Созданы опытные образцы ЭУ с источниками, использующими как щелочные, так и соевые электролиты с различными добавками и специально разработанным анодным сплавом. Эти разработки рассматриваются нами как прототипы будущей серийной продукции. В настоящее время основные усилия направлены на повышение технологичности изготовления разработанных источников и улучшения их эксплуатационных характеристик.

Во всех наших работах используется комплексный подход, при котором одновременно создаётся основное изделие (ЭУ на основе ВА ХИТ) и разрабатывается технология регенерации или утилизации продуктов реакции и отработавших свой ресурс установок, что обеспечивает полную экологическую безопасность эксплуатации энергетической системы.

В частности, сервисное обслуживание ЭУ заключается в замене отработанных анодов на новые, что делается механически в течение нескольких минут, и замене электролита для удаления из установки осадка гидроксида алюминия. Последняя операция по времени и сложности выполнения аналогична заправке топлива в бак автомобиля. Как замена анодов, так и замена электролита осуществляется пользователем на месте эксплуатации.

Отработанный электролит подвергается регенерации и используется для повторной заправки ЭУ. Отделённый от электролита твёрдый гидроксид отмывается от остаточной щёлочи и направляется на переработку для получения исходного алюминия или

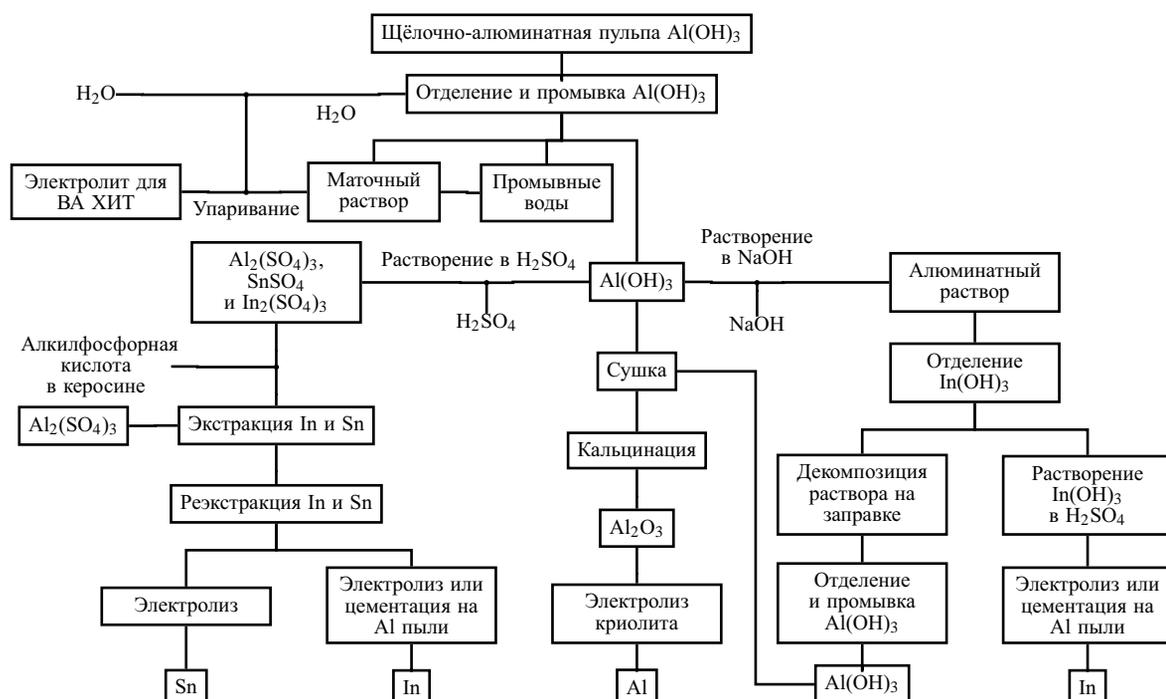


Рис. 4. Принципиальная технологическая схема регенерации электролита и переработки продуктов реакции

для неметаллургических целей. Для этих операций используется простейшее оборудование, и они также могут быть выполнены пользователем на месте эксплуатации.

Нами разработана технологическая схема утилизации продуктов реакции и регенерации исходного щелочного электролита, приведенная на рис. 4. Она предусматривает три различных пути (ветви). Это обусловлено, во-первых, областями использования гидроксида алюминия (металлургической и неметаллургическими), во-вторых, составом исходных рабочих материалов (анодного сплава и электролита), в-третьих, необходимостью регенерации дефицитных добавок в анод и электролит. Конкретное направление переработки и её объём определяются в каждом

отдельном случае сложившейся на данный момент конкретной конъюнктурой рынка сбыта гидроксида алюминия и возможностью реальных капиталовложений.

Таким образом, состояние разработок механически перезаряжаемых воздушно-алюминиевых источников тока большой удельной энергоёмкости к настоящему моменту можно охарактеризовать следующим образом: практически завершены НИР и НИОКР. В настоящее время нами проводятся опытно-конструкторские работы по созданию отдельных образцов ЭУ различного назначения и внедрению новейших технических решений.

На рис. 5–10 представлены фотографии некоторых образцов ВА ХИТ.