

СПРАВКА

I. ПОРТАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ. ПЛАТФОРМА «ЭНЕРДЖИН»

Водород-воздушные топливные элементы рассматриваются как перспективные энергетические системы для различных применений в силу относительно высокого электрического КПД (50-75%) и отсутствия вредных выбросов.

Топливные элементы можно разделить на следующие типы по диапазону рабочих температур:

- ▶ низкотемпературные: PEMFC (рабочая температура 50-80 °С, топливо – газообразный водород), DMFC (рабочая температура ~80 °С, топливо – метанол);
- ▶ среднетемпературные: PAFC (рабочая температура 180-250 °С, топливо – газообразный водород, синтез-газ);
- ▶ высокотемпературные: MCFC (рабочая температура 450-600 °С, топливо – водород, природный газ, синтез-газ), SOFC (рабочая температура 850-1100 °С, топливо - водород, синтез-газ, углеводородное топливо).

Представленные на рынке системы электропитания на основе высокотемпературных топливных элементов (например, на основе твердооксидных топливных элементов - SOFC или ТОТЭ - с рабочей температурой 800-950°С) для работы непосредственно в портативных источниках обычно не используются, так как зачастую имеют большое время запуска в рабочий режим, медленное регулирование выходной мощности (следовательно, требуют емкого буферного накопителя на аккумуляторах) и ограниченное количество циклов запуска (до нескольких сотен). Хотя есть проекты (в том числе у некоторых научных коллективов в России) по разработке микротрубчатых ТОТЭ с увеличенным ресурсом работы, которые также могут оказаться перспективными с точки зрения быстрого выхода в рабочий режим. Однако недостаток в виде горячих (до 300 °С) выхлопных газов все еще остается актуальным и требует сложных технических решений для его преодоления в малогабаритных изделиях.

Системы электропитания на основе метанольных топливных ячеек обладают относительно невысокой эффективностью (КПД порядка 30%), поэтому их сфера применения ограничена портативными приложениями (аналоги аккумуляторов в ноутбуках, источники питания в беспилотных системах и др.). В России использование метанола жестко регламентировано и имеет ограничения на его применения.

В России и мире активно ведутся разработки и внедрения на основе низкотемпературных водород-воздушных топливных элементов с протон-обменной мембраной (типа PEMFC). Принцип их работы заключается в процессе расщепления молекул водорода на аноде на протоны и электроны, переноса положительного заряда через протон-обменную мембрану, в то время как свободные электроны проходят через нагрузку потребителя. Затем происходит последующее восстановление ионов водорода на катоде и их окисление кислородом. Таким образом, химическая энергия молекул водорода и кислорода (из воздуха) преобразуется в электрическую энергию (с КПД до 60%), «выхлопом» является чистый водяной пар.



Использование низкотемпературных водород-воздушных топливных элементов

Разрабатываемая платформа портативного электропитания включает в себя два основных компонента: низкотемпературный водород-воздушный топливный элемент (генератор) и емкость с источником водорода ("топливный бак" или баллон).

Первые образцы источников энергии на основе разрабатываемой платформы будут иметь следующие характеристики:

- быстрый старт (до 2 мин);
- диапазон температур гарантированного «холодного» запуска 0...+50 °С;
- диапазон рабочих температур -20...+50 °С;
- высокий КПД (до 60% по электричеству, по низшей теплотворной способности водорода),
- автомасштабирование выходной мощности в реальном времени в зависимости от подключенной нагрузки;
- безопасность (максимальное внутреннее давление в баллоне в диапазоне рабочих температур не превышает 10 атм, давление в топливном элементе и водородном тракте после редуктора не превышает 1,5 атм);
- надежность (малое количество подвижных деталей и отсутствие разрядки в режиме ожидания);
- отсутствие шумов;
- блочно-модульное построение, позволяющее масштабировать мощность и энергоемкость без значительных конструктивных изменений - для удовлетворения широкого спектра требований потребителей;
- сменные картриджи являются источником водорода и могут быть как многократно перезаправляемыми (с металлогидридом внутри), либо содержать необратимый химический источник водорода;
- включение прибора и подача водорода из установленного баллона выполняется одним действием - выдвиганием головной части изделия на длину около 15мм с усилием не более 15Н.

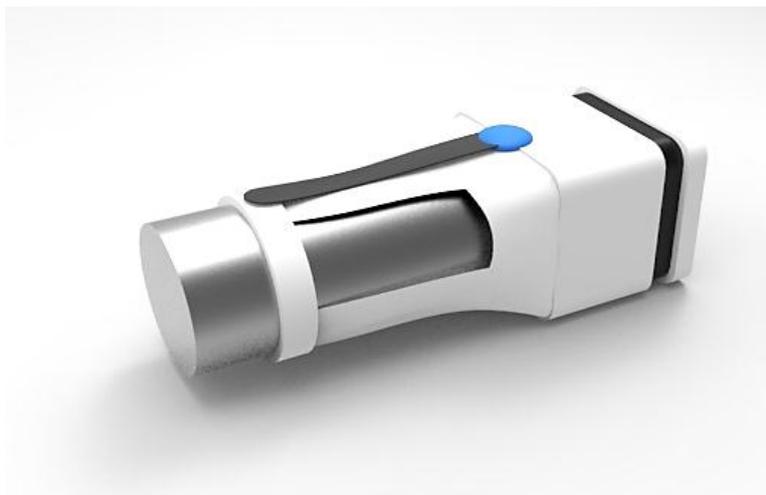
Платформа «Энерджин» разрабатывается с универсальным выходным портом и предполагает подключение к одному источнику питания различных съемных «головных» частей с требуемыми потребителю преобразователями напряжения, выходными разъемами, источниками света и др.

В качестве примера приведем массо-габаритные параметры изделия «Энерджин» мощностью до 30 Вт:

- диаметр 55мм с расширением головной части до 70 мм (габариты ручного фонаря);

- ▶ общая длина изделия определяется требуемой энергоемкостью (баллон с топливом) и для перезаряжаемого металлгидридного баллона 100 Вт*ч составляет около 250 мм;
- ▶ вес изделия без баллона около 0,3 кг;
- ▶ вес металлгидридного баллона 100 Вт*ч – 0,45-0,5 кг;

Дизайн-концепт представлен ниже на рисунке.



Предварительный расчет для источников топлива (водорода)

Минимальный и максимальный целевые энергетические параметры заказчика:

- 20 Вт @ 96ч = 1,92 кВт*ч
- 500 Вт @ 96ч = 48 кВт*ч

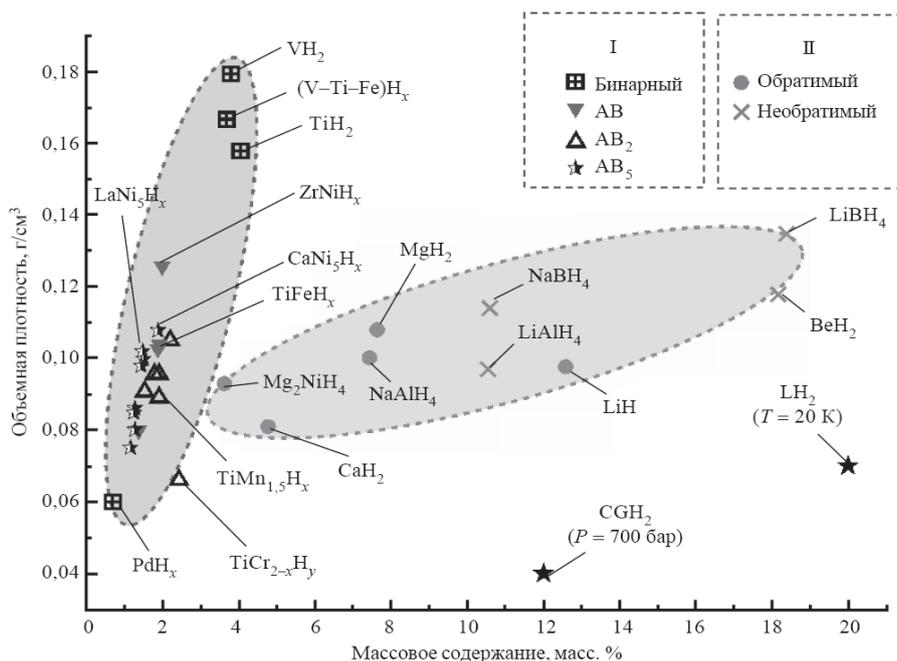


Рис. Соотношение между содержанием и объемной плотностью для бинарных и интерметаллических гидридов на основе переходных металлов (I) и бинарных и комплексных гидридов легких элементов (II) как источников водорода. Рисунок из статьи: Б.П.Тарасов и др. Методы хранения водорода и возможности использования металлогидридов. // ISJAE №12(32), 2005

1. Для хранения газообразного водорода широкое распространение получили **композитные баллоны с давлением компримированного водорода 300-700 атм**, использование которых позволяет достигнуть весовой доли хранения водорода порядка 5-8%. Однако использование баллонов, арматуры и водородопроводов высокого давления связано с повышенной взрывоопасностью. Удельная энергоёмкость баллонной системы хранения водорода составляет до **0,8-1,3 кВт*ч/кг**.
2. Для хранения водорода в безопасном виде наиболее удобны обратимые водород-аккумулирующие интерметаллические сплавы. Например, наиболее неприхотливый сплав, применяемый в разработках ООО «Инэнерджи» для многократных циклов заправки напрямую от электролизера (без дополнительной осушки газа и очистки) - **интерметаллический сплав типа AB₅** (например, на основе LaNi₅), поглощает и выделяет водород в диапазоне температур окружающей среды. Сплав имеет весовое содержание водорода 1,38%, что в пересчете соответствует **0,244 кВт*ч** эквивалентной энергоёмкости (т.е. уже с учетом КПД топливного элемента около 50%) **на 1 кг сплава**.

Возможные источники водорода: электролизер (электролиз дистиллированной воды); риформер углеводородного топлива (природного газа, СПГ, пропан, бутан и др.)

Использование перезаряжаемых водородных баллонов перспективно при применении стационарного или мобильного электролизера или риформера. Получаемый на выходе водород удобно использовать для хранения в металлогидридных сплавах, обратимо его выделяющих при безопасных давлениях.

3. Следующим перспективным решением могут выступать **необратимые химические источники водорода**. Расчеты по энергоемкости ниже приведены для справки и рассчитаны для теоретического (максимального) предела без учета необходимого избытка реакционных веществ, а также состава и компоновки баллона.

а) Борогидриды, выделяемые водород при гидролизе или термолизе. Как видно из рисунка выше, борогидрид лития LiBH_4 имеет высокую массовую долю водорода, но продукты гидролиза чрезвычайно токсичны и вызывают поражения нервной системы. Лучше использовать борогидрид натрия (NaBH_4) или магния, как более безопасные. NaBH_4 серийно выпускается российской промышленностью. Одним из недостатков необратимых гидридов является то, что скоростью их реакции с водой плохо контролируется внешними средствами.

Расчеты показывают, что для реакции NaBH_4 необходимо почти двукратное по весу гидрида количество воды (на 1 кг гидрида 1,9 кг воды). Количество выделившегося при этом водорода позволит получить **1,23 кВт*ч на 1 кг смеси борогидрида натрия и воды**.

б) Одним из наиболее безопасных с точки зрения и продуктов реакции, и исходного вещества, является гидрид кальция.

Гидрид кальция относительно дешев, доступен, достаточно широко применяется в порошковой металлургии в качестве восстановителя. Он менее реакционноспособен, чем гидриды магния, алюминия, борогидриды, тем самым более удобен и безопасен при хранении и транспортировке. С середины прошлого века накоплен большой опыт практического использования процесса получения водорода из гидрида кальция в нестационарных (полевых) условиях (например, для наполнения аэростатов). Реакция с водой позволяет за короткое время получить большое количество водорода (до 1000л на 1кг гидрида кальция + 0,86 кг воды). Продукты реакции нетоксичны и экологически безопасны (гидроокись кальция, которая после естественной карбонизации на воздухе превращается в карбонат кальция). Количество выделившегося при реакции водорода позволит получить **0,88 кВт*ч на 1 кг смеси гидрида кальция и воды**.

в) Существует целая линейка **кристаллогидратов**, которые также активно изучались коллективом сотрудников ИПХФ РАН и ООО «Инэнерджи». Примером могут служить $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2 \cdot (2/4/6)\text{H}_2\text{O}$ с температурой плавления выше 40°C . Вода уже находится в веществе в связанном состоянии, реакция выделения водорода начинается при повышении температуры вещества до температуры плавления. Реакция контролируется изменением температуры. Более перспективный вариант, в отличие от использования самих борогидридов.

г) В качестве химического источника водорода также можем предложить использовать аминоборан (NH_3BH_3). Водород выделяется термолизом при $120-150^\circ\text{C}$, массовая доля содержания водорода 19-20%. Количество выделившегося при термолизе водорода позволит получить на выходе энергогенератора до **2,2 кВт*ч на 1 кг аминоборана**. Однако срок службы топливных элементов будет снижен из-за наличия примесей в выделяемом из аминоборана водороде. Подобный источник водорода пригоден для изделий с незначительной общей наработкой (до 1000 часов).

д) Справка по другим изученным к настоящему времени веществам и композитам, в том числе по вновь предложенным коллективом данного проекта, может быть подготовлена дополнительно.

II. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПУТИ СОЗДАНИЯ ПОРТАТИВНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

1. Альтернативным вариантом портативного источника энергоснабжения могут являться **устройства на основе прямых метанольных топливных элементов (DMFC)**, топливом является 40-65% раствор метанола в воде, в настоящее время активно развиваются варианты с более высоким содержанием метанола (вплоть до чистого метанола). Реакции в топливных элементах происходят при низких температурах (60-80 °С). Системы электропитания на основе метанольных топливных ячеек обладают относительно невысокой эффективностью (КПД порядка 30-35%). Однако в России использование метанола жестко регламентировано и имеет ряд ограничений за исключением тех производственных процессов, где он не может быть заменен другими менее токсическими веществами, в соответствии с СП 2.3.3.2892-11 «Санитарно-гигиенические требования к организации и проведению работ с метанолом». Использование метанола в качестве топлива позволит получить от **0,9 кВт*ч/кг до 1,2 кВт*ч/кг для 60-62% раствора метанола в деионизованной воде.**

2. Следующим направлением развития проекта может быть использование технологии **микротрубчатых ТОТЭ** в качестве источника энергии, с возможностью использования углеводородного топлива без необходимости внешнего преобразования. Как отмечено выше, у микротрубчатых ТОТЭ может быть увеличен ресурс по сравнению с планарными мембранно-электродными блоками ТОТЭ, а также эта технология потенциально способна обеспечить быстрый выход источника энергии в рабочий режим (до 10 мин). Однако недостаток в виде горячих (до 300 °С) выхлопных газов все еще остается актуальным и требует дополнительных технических решений для его преодоления в малогабаритных изделиях. Работа в компании «ИнЭнерджи» в данном направлении находится на уровне НИОКР, с планируемым получением первых образцов малогабаритных изделий (до 10 Вт) в первом квартале 2016 гг.

Удельная энергоемкость углеводородного топлива относительно высока благодаря более высокой плотности исходного вещества, по сравнению, например, с газообразным водородом. Метан (или природный газ) в жидком виде не хранится (температура сжижения «минус» 164 °С), удельная энергоемкость метана 9,2 кВт*ч/кг; эквивалентная энергоемкость средств хранения газа, с учетом веса композитных баллонов и электрического КПД топливных элементов (считаем 50%), позволит получить удельную энергоемкость до **1 кВт*ч/кг.**

Энергоемкость **сжиженного пропана или пропан-бутана** (около 16 атм при нормальной температуре) без учета веса баллона составляет до 12,8 кВт*ч/кг, или с учетом веса баллона и электрического КПД топливных элементов (50%) позволит получить **2,2-2,8 кВт*ч/кг**, что является одним из наиболее перспективных вариантов для использования в ТОТЭ.

ООО «ИнЭнерджи»

Россия, 111524, Москва

ул. Электродная 12, стр.1

Тел.: +7 (495) 380 02 55

info@inenergy.eu

www.inenergy.eu