

УДК 629.788.018.3:541.135

СОЗДАНИЕ НОВЕЙШИХ ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗ НА БУДУЩЕЕ

А.А. Смоленцев, А.Н. Щербаков / ОАО «РКК «Энергия»

Работы по энергоустановкам с электрохимическими генераторами (ЭХГ) для космической техники были начаты в СССР в 1967 году на предприятии, которое в настоящее время носит название «РКК «Энергия» им. С.П. Королева». Была создана энергоустановка с ЭХГ «Волна-20» (разработчик генератора – УЭХК) с криогенными системами хранения водорода и кислорода. Установка обеспечивала энергией Лунный орбитальный корабль (программа «Н1-Л3»). Эти работы получили дальнейшее развитие и в 80-х годах прошлого века. Была создана энергоустановка для корабля «Буран», включающая четыре ЭХГ «Фотон» (разработка УЭХК) криогенные системы хранения компонентов, систему терморегулирования, управления и тд. Разработка ЭХГ оказалась настолько удачной, что и сейчас этот научно-технический задел определяет в нашей стране как уровень современных разработок энергоустановок с ЭХГ, так и их ближайшую перспективу.

Уровень развития современных водородных технологий определяется следующими событиями:

- первое — в 2011 году закончена 30-летняя эксплуатация американских космических кораблей «Спейс-Шаттл», в которых энергопитание надежно обеспечивалось водород-кис-лородными ЭХГ «РС-17С» фирмы «UTC»;
- второе — в 2004 году были созданы и введены в строй германские лодки с водород-кислородными ЭХГ;
- третье — в Японии, США и Европе созданы опытные легковые автомобили и автобусы с ЭХГ. Развернуты опытные сети водородных автозаправочных станций, заправляющие автотранспортные средства водородом, как газообразным (350 атм. в настоящее время, в перспективе до 700 атм.), так и криогенным;
- четвертое — в РКК «Энергия» при создании энергоустановок с ЭХГ для различных наземных заказчиков (АвтоВАЗ, РЖД, и др.) подтверждена полная работоспособность ЭХГ «Фотон» после 18 летнего хранения.

Ближайшая перспектива развития водородных технологий для наземного транспорта:

- в части бортовых источников электроэнергии — создание ЭХГ нового поколения (со щелочными матричным или твердодополимерными топливными элементами), с уровнем удельной мощности до 1 кВт/кг, достижимым ресурсом 5...10 тыс. ч при удельной стоимости батареи топливных элементов — 2000 \$/кВт;
- в части заправочной инфраструктуры — создание электролизёров воды высокого давления (без компрессоров) с уровнем рабочего давления электролизных газов до 70 МПа при расходе генерируемого водорода до 25 $\text{нм}^3/\text{ч}$, с ресурсом до 40 тыс. ч,

Таблица 1

Параметр	«АНТЭЛ-1»	«АНТЭЛ-2»
Мощность электрическая, выдаваемая в нагрузку, кВт	20	40
Напряжение, выдаваемое в нагрузку в длительном режиме работы, В	110	240
Топливо	Водород технический по ГОСТ 3022-80, марка А	Водород технический по ГОСТ 3022-80, марка А
Окислитель	Кислород технический марки Б первого сорта по ТУ 621-8-78	Воздух очищенный, компримированный
Запас хода, км	200	350

Таблица 2

Параметр	Значение
Мощность электрическая, выдаваемая в нагрузку длительная, кВт	50
Мощность электрическая максимальная (в течение 60 с), выдаваемая в нагрузку, кВт, не более	80
Напряжение, выдаваемое в нагрузку в длительном режиме работы, В	230 — 300
Время выхода энергоустановки на максимальную мощность в состоянии готовности, с, не более	0,2
Мощность, потребляемая от внешнего источника напряжением 120 В в режиме запуска, кВт, не более	6
Топливо	Водород технический по ГОСТ 3022-80, марка А
Удельный расход водорода при максимальной длительной мощности, кг/кВт·ч, не более	0,042
Окислитель	Кислород технический марки Б первого сорта по ТУ 621-8-78
Удельный расход кислорода при максимальной длительной мощности, кг/кВт·ч, не более	0,336
Мощность тепловыделения во внешний контур терморегулирования при длительном режиме работы, кВт	40

Таблица 3

Параметр	Значение
Мощность электрическая, выдаваемая в нагрузку длительная, кВт	70
Напряжение, выдаваемое в нагрузку в длительном режиме работы, В	340
Топливо	Водород технический по ГОСТ 3022-80, марка А
Окислитель	Воздух очищенный, компримированный
Расход воздуха на входе в СВЭУ, кг/ч	10 — 230
Ресурс СВЭ, ч, не менее	2000
Время запуска при комнатной температуре, мин, не более	5

с уровнем удельных энергозатрат на производство водорода менее $4,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{нм}^3$;

- в части современных аккумуляторов энергии — создание бортовых аккумуляторов энергии с водородным циклом (АЭВЦ). Полезная энергия АЭВЦ — более $500 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$, удельная энергия — до $500 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$. АЭВЦ включает: ЭХГ, электролизер воды высокого давления, емкости для хранения очищенных электролизных газов и комплекс служебных систем.

Работы в Корпорации в области создания энергоустановок с ЭХГ в настоящее время ведет относительно небольшой, сложившийся коллектив. Сохранена и основная кооперация. За последние десять лет был выполнен значительный объем работ, в том числе и для нужд отечественного автопрома. На основе форсированных ЭХГ «Фотон» в кратчайшие сроки были созданы энергоустановки для автомобилей «АНТЭЛ-1» (2000 год), «АНТЭЛ-2» (2003 год). Характеристики установок приведены в табл. 1.

В 2007-2008 годах в РКК «Энергия» разработана и изготовлена силовая установка на топливных элементах (СУТЭ) по заказу ОАО «Российские железные дороги» для энерговагона ремонтно-восстановительного поезда. Основные характеристики СУТЭ приведены в табл. 2.

В состав установки входят четыре ЭХГ «Фотон-ЖД», доработанные и форсированные в УЭХК. Генераторы смонтированы на общей раме, заимствованной от СЭП орбитального корабля «Буря» и включены электрически последовательно на потребители энерговагона. В настоящее время СУТЭ установлена в составе энерговагона и проходит испытания на экспериментальном кольце РЖД в г. Щербинка.

Работы по созданию экологически чистого автотранспорта в РКК «Энергия» были продолжены в 2009...2010 годах. В рамках реализации научно-технической программы города Москвы «Создание экологически чистого городского транспорта нового типа (на 2007-2011 годы)» разрабатывался проект стендовой водородной энергоустановки (СВЭУ) с ЭХГ нового типа.

Характеристики СВЭУ приведены в табл. 3.

Для СВЭУ была создана система хранения водорода на основе современных композиционных баллонов высокого давления, разработанных НПП «Маштест» (г. Королев). Баллоны сертифицированы на водород и их характеристики соответствуют мировому уровню:

- внутренний объем — 90 л;
- масса — 50 кг;
- рабочее давление — 400 атм.

Одновременно с созданием энергоустановок с ЭХГ, в РКК «Энергия» создавались средства их заправки рабочими газами. Для автомобилей семейства «АНТЭЛ» были созданы средства заправки на основе мультипликатора, повышающего давление водорода со стандартного (150 атм.) до необходимого (350 атм.). Для систем заправки водородом автотранспортных средств различного назначения наиболее подходят (в настоящее время и на перспективу) – система генерации водорода на основе реакции гидролиза алюминия в водном растворе щелочи и система генерации водорода и кислорода на основе электролизёра воды высокого давления (без компрессоров).

Гидролиз алюминия в водном растворе щелочи является одним из наиболее эффективных и технологически простых способов получения водорода без затрат электроэнергии. Работы по гидролизу алюминия в водном растворе щелочи начались в 2001 году под научным руководством доктора наук А.Г. Аракелова. Реакцию проводят при избытке щелочи и воды. В этом случае после окончания рабочего цикла в реакторе остается жидкий щелочной раствор. В РКК «Энергия» в 2004 году был создан и испытан модульный реактор МРГВ. В ходе испытаний был отработан управляемый рабочий режим МРГВ с производительностью по водороду до $4\div 5 \text{ нм}^3/\text{мин}$ водорода. Реактор работал в циклическом режиме. При этом за один цикл расходовалось 3,6 кг алюминия и 13,5 л 30-процентного раствора NaOH. Рабочее давление водорода 30 атм. определялось заказчиком, однако возможно генерировать водород при давлении до 1000 атм. В настоящее время рассматривается возможность создания генератора водорода на основе активированного алюминия и воды.

С 2005 года в корпорации развернуты работы по созданию электролизных установок высокого давления. Электролизные установки позволя-

ют получить наиболее чистый водород, пригодный для непосредственного использования в ЭХГ, однако для накопления значительных количеств водорода его требуется компримировать до высоких давлений, соответствующих характеристикам современных газовых баллонов (350 атм. и выше). В настоящее время в РКК «Энергия» находится на испытаниях электролизная установка Н5.0000-0, генерирующая водород высокого давления без применения компрессора. Установка может работать как с твердополимерными электролизными элементами, созданными ФГУП «Красная звезда», так и со щелочными электролизными элементами, создаваемыми в УЭХК. Мощность электролизера Н5 до 10 кВт, рабочее давление электролизных газов до 350 атм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

РКК «Энергия» по заказам различных фирм (ЗАО АвтоВАЗ, ООО «НИК НЭП», РАО РЖД и др.) выполнила ряд разработок: энергоустановки с модернизированными ЭХГ «Фотон», электролизные установки высокого давления. Указанные разработки подтвердили сохранение достаточно высокого уровня развития водородных технологий в России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И.Н. Глухих, Н.И. Зеленщиков, Б.А. Соколов, А.Н. Щербаков «Электролизные установки высокого давления. Современный опыт и прогноз на будущее»\ \ ... Водородная экономика и водородная обработка металлов. Труды пятой международной конференции «ВОМ-2007» Донецк 21-25 мая 2007 г. Дон. ИФЦ ИАУ. 2007, 952 с;
2. В.М. Филин, Б.А. Соколов, А.Н. Щербаков, И.П. Терентьев, А.В. Егоров, А.М. Долгин, А.В. Корвин, А.В. Десятов, В.А. Смоляров «Концепция обеспечения Лунной базы на основе солнечных батарей и аккумуляторов энергии с водородным циклом, 40-53 с\ \ Перспективные энергетические технологии в космосе. Сб. статей под ред. академика А.С. Коротева, М.: ЗАО «Светлица», 2008, 208 с.
3. S Sugawara, A Ohma, Y.Tabuchi and K.Shinohara "Fundamental approaches to full cell" //Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» № 9 (89), 2010, 89-105 с
4. «Современное состояние дел и будущее технологий хранения водорода» // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» № 9 (89), 2010, 111-115 с.
5. «Такао Асами. Автомобили с нулевым выбросом вредных веществ от мечты к реальности»//Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» № 9 (89), 2010, 10-13 с.