

АННОТАЦИЯ
итоговая по научно-исследовательской работе

Государственный контракт с Роснаукой:	от «5» июня 2009 г. № 02.516.12.6016
Шифр контракта:	«2009-06-1.6-00-02-004»
Тема работы:	Работы по проведению проблемно – ориентированных поисковых исследований и созданию научно-технического задела в области энергетики и энергосбережения с участием научных организаций ЮАР
Цель работы:	Повышение уровня информационного обмена, стимулирование научной и деловой активности на основе международной кооперации и интеграции инновационного научного потенциала университетов и других научно-исследовательских организаций, усиление конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности энергетического сектора России, привлечение талантливой молодежи к участию в международных перспективных научных исследованиях по приоритетному направлению «Энергетика и энергосбережение»..
Приоритетное направление развития науки и техники	Энергетика и энергосбережение
Критическая технология	Технологии водородной энергетики
Период выполнения контракта за счет бюджетных средств	С «5» июня 2009 г. по «30» сентября 2010 г.
Всего этапов	4
Номер и наименование завершенного этапа	4

Срок завершения работ за счет внебюджетных средств	«30» сентября 2010 г.
Период поставок, установленный контрактом	-
Исполнитель:	Учреждение Российской академии наук Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН), г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2
Ключевые слова:	

1 Актуальность проекта

Актуальность проекта определяется постоянным ростом потребления чистого и высокочистого водорода в различных отраслях промышленности – химической, пищевой, энергетической (от 7% до 18% в год), а также стремительным ростом разницы цен на технический и высокочистый водород (вдо 10 раз). Проект предполагает развитие научно-технических основ создания многофункциональных систем твердофазного хранения водорода, предназначенных для обеспечения нужд потребителей в чистом и высокочистом водороде. Проект направлен на обеспечение российского вклада в совместный исследовательский проект Объединенного института высоких температур РАН и Женевского университета в рамках программы Российско-Швейцарского научно-технического сотрудничества

2. Разрабатываемая продукция

2.1 Номенклатура продукции, разрабатываемой в рамках проекта

- Эскизная документация на металлогидридные реакторы, предназначенные для использования в системах хранения, теплового компримирования водорода и управления тепловыми потоками, а также, очистки и выделения водорода.
- Экспериментальные образцы металлогидридных реакторов хранения, очистки и компримирования водорода и результаты их испытаний.

2.2 Характеристика разрабатываемой продукции

Сравнение реактора РХО-7 с аналогами, представленными на рынке

Характеристики (параметры), определяющие конкурентоспособность	Ед. изм.	РХО-7, ОИВТ РАН	HB-SC-0660-N, H Bank Technology Inc. (Тайвань)	Ovonix, 5G250B-NPT Energy Conversion Devices, Inc. (США)	BL-740, Hydrogen Components, Inc. (США)
Емкость	л/мин	1800	660	900	740
Скорость зарядки	л/мин	50	-	2	~2 дня
Скорость разрядки	л/мин	50	2	6	несколько часов
Чистота водорода на входе	%	любая	99,99	99,99	99,99
Чистота водорода на выходе	%	99,9999	99,9999	99,9999	99,9999
Метод охлаждения	-	Жидкостный	Воздушное/водяная баня	Воздушное	воздушное
Масса	кг	25	6,1	6,5	5,5

Преимущества разрабатываемых в ОИВТ РАН систем хранения и очистки водорода перед аналогами:

- Существенно более высокие скорости зарядки/разрядки устройств по сравнению с аналогами, представленными на рынке;
- Возможность использования загрязненного водорода для зарядки системы;

Недостатки:

- Более высокие массо-габаритные характеристики, связанные с использованием жидкостного охлаждения
- Продукция ОИВТ РАН будет иметь преимущество перед аналогами в сегментах рынка, требующих высоких скоростей зарядки/разрядки (работа с энергоустановками мощностью от 1 кВт) и очистки водорода (энергоустановки на базе ВИЭ).

2.3 Форма коммерциализации результатов проекта

Эскизная конструкторская документация, демонстрационный опытно-промышленный образец.

3 Области и масштабы использования полученных результатов

Основные области использования результатов: системы автономного и бесперебойного энергообеспечения, потребители высокочистого водорода в электронной, пищевой и энергетической отраслях промышленности.

Наиболее перспективным рынком является развивающийся рынок возобновляемых источников энергии. На период до 2020 года целевым ориентиром увеличение относительного объема производства и потребления электрической энергии с использованием ВИЭ (кроме гидроэлектростанций установленной мощностью более 25 МВт) примерно с 0,5 до 4,5 процента. Для чего необходим ввод генерирующих объектов (малых гидроэлектростанций, ветроэлектрических станций, приливных электростанций, геотермальных электростанций, тепловых электростанций, использующих биомассу в качестве одного из топлив, прочих видов электроустановок) с суммарной установленной мощностью до 25 ГВт.

Развитие отраслей топливно-энергетического комплекса, возобновляемых источников энергии, централизованного теплоснабжения, автономной энергетики и энергосбережения потребует крупных инвестиций в размере 2,4 - 2,8 трлн. долларов США в ценах 2007 года. Это соответствует максимальному возможному объему рынка ВИЭ в России на период до 2030 г.

Можно выделить следующие перспективные сегменты рынка для твердофазных системам хранения и очистки водорода, которые будут актуальны в ближайшее время:

Энергетика:

- Бесперебойное энергоснабжение – обеспечение электроэнергией потребителей, для которых критично иметь постоянное надежное энергоснабжение. Для этого сегмента характерны малые времена работы, и к

подобным устройствам предъявляются особые требования по надежности и низким эксплуатационным затратам;

- Автономное энергообеспечение (в том числе на основе ВИЭ) – обеспечение электроэнергией и теплом потребителей, не имеющих надежного доступа к электросети общего пользования. Для этого сегмента характерны сниженные требования к стоимости энергоустановки и повышенные к надежности, поскольку предполагаемое время работы превышает в среднем 6000 часов в год;
- Специальные транспортные средства – энергообеспечение транспортных средств, таких как погрузчики, уборщики и т.д. в замену обычных электроаккумуляторов или двигателей внутреннего сгорания, где критично отсутствие вредных выбросов, для таких применений характерна мощность энергоустановок менее 100 кВт и время работы до 2000-5000 часов в год.
- Портативное энергообеспечение – обеспечение электроэнергией электронных и т.п. устройств мощностью менее 1 кВт. Для этого сегмента критичны компактность и эффективность работы.
- Резервное энергоснабжение – обеспечение альтернативным источником энергии различных устройств в случае недоступности основного;

Прочие:

- Источники высокочистого водорода для высокотехнологичных производств и лабораторных нужд – очистка, длительное безопасное хранение и снабжение по запросу потребителя водородом высокой степени чистоты;
- Бытовое кондиционирование и теплоснабжение – использование тепловых насосов на основе металлгидридов для охлаждения и нагрева воздуха с использованием ВИЭ и источников низкопотенциального тепла;
- Термохимические компрессоры – использование свойств гидридов для сжатия газов.

Ранние рынки для энергоустановок на базе ТЭ

Бесперебойное энергообеспечение				Специальный транспорт	Автономное энергообеспечение
Частный сектор	Учреждения	Промышленность	Государственные нужды		
Телекоммуникации	Здравоохранение	Химическая	МЧС	Погрузчики	Природоохран-ныезоны
Финансы	Водоподготовка	Нефтеперегонка	Оборонные применения	Уборщики	
Дата-центры	Аэропорты	Фармацевтическая	Географические, геологические и пр. службы	Шахтный транспорт	
Магазины	Коммунальное хозяйство	Электронная		Спецтранспорт в аэропортах	
Развлекательные центры		Металлообрабатывающая			
Отели		Пищевая		Спецтранспорт в спортивных и туристических заведениях	
Туристические зоны					

4 Ход выполнения проекта (не более 2 стр.)

Выполнены следующие работы:

- 1.1. Расчеты динамики сорбции, полей температур и давлений для модельного металлгидридного реактора
- 1.2. Создание экспериментальных партий на основе промышленных металлгидридных сплавов типов AB_5 , AB_2 и AB .
- 1.3. Разработка математической модели тепло и массообменных процессов при сорбции водорода в металлгидридных пористых засыпках.
- 1.4. Модификация мат. модели с учетом наличия отравляющих примесей во входящем газе
- 2.1. Выработка требований к физико-химическим свойствам новых металлгидридных сплавов.
- 2.2. Моделирование процессов тепломассообмена
- 3.1. Разработка эскизной конструкторской документации на металлгидридный реактор хранения, очистки и компримирования водорода.
- 3.2. Проведение экспериментальных исследований тепловых процессах в металлгидридных устройствах;
- 3.3. Изготовление и испытания экспериментального металлгидридного реактора хранения, очистки и компримирования водорода.
- 4.1. Проведение патентных исследования.
- 4.2. Проведение исследований и оптимизация конструкции металлгидридных реакторов хранения очистки и компримирования водорода.
- 4.3. Техничко-экономический анализ эффективности систем твердофазного обратимого хранения очистки и компримирования водорода.
- 4.4. Разработка ТЗ на ОКР по разработке системы хранения, теплового компримирования водорода и управления тепловыми потоками

Подготовительные работы: Разработана и модифицирована с учетом наличия отравляющих примесей во входящем газе математическая модель тепло и массообменных процессов при сорбции водорода в металлгидридных пористых засыпках. Выработаны требования к физико-химическим свойствам новых металлгидридных сплавов. Проведены патентные исследования.

Основные работы: Выполнены расчеты динамики сорбции, полей температур и давлений для модельного металлгидридного реактора в том числе при сорбции водорода с примесями в металлгидридных устройствах. Проведены экспериментальные исследования тепловых процессов в металлгидридных устройствах. Изготовлен и испытан экспериментальный металлгидридный реактор хранения, очистки и компримирования водорода РХО-7. Проведены исследований и оптимизирована конструкция металлгидридного реактора РХО-7.

Завершающие работы: создана эскизная конструкторская документация на доработанный металлгидридный реактор хранения, очистки и компримирования водорода РХО-7. Проведена технико-экономическая оценка рыночного потенциала полученных результатов. Разработан проект ТЗ на ОКР по созданию опытно-промышленного образца многофункциональной системы твердофазного обратимого хранения водорода.

Международное сотрудничество: В ходе проекта осуществлено сотрудничество с Южноафриканским институтом химии улучшенных материалов (ЮА-ИХУМ), Западно-капский университет (ЮАР). Иностранным партнером представлены данные о национальной стратегии ЮАР в области водородных технологий и текущем состоянии НИОКР в этой сфере; результаты по созданию образцов оптимизированных металлгидридных материалов и изучению их свойств, о результатах разработки и создания металлгидридного реактора для обеспечения двухчасовой работы 1 кВт PEMFC на полной мощности, результаты технико-экономической оценки осуществимости в условиях Южной Африки создания машины использования бросового тепла на основе металлгидридных технологий.

Основные результаты:

Продемонстрировано, что присутствие примесей (в том числе малых количеств – порядка единиц % об) в водороде существенно снижает скорость зарядки металлгидридных устройств. Использование методики циклического выброса примесей, накапливающихся в свободном объеме реактора позволяет существенно увеличить скорость зарядки металлгидридных устройств. Предложено использовать регулировку продолжительности продувки реактора по внешнему давлению, что снижает потери водорода и увеличивает скорость зарядки реактора. В этом режиме продемонстрировано хорошее совпадение результатов математического моделирования и эксперимента.

Созданы экспериментальные образцы водородопоглощающих материалов:

- С повышенным массовым содержанием водорода для долговременного хранения: $\text{TiFe}_{0,9}\text{Mn}_{0,1}$ (1,6% при 20 °С), $\text{TiV}_{0,62}\text{Mn}_{1,5}$ (3,5% при

20 °C), $\text{LaMn}_{0,5}\text{Co}_{0,3}\text{Ni}_{4,2}$ (1,5% при 20 °C);

- С повышенной энтальпией реакции с водородом, превышающей 35 кДж/моль для компрессии и регулирования тепловых потоков: $\text{NdNi}_{4,25}\text{Mn}_{0,75}$, $\text{Ce}_{0,8}\text{Nd}_{0,2}\text{Mn}_{0,6}\text{Co}_{0,8}\text{Al}_{0,2}\text{Ni}_{3,4}$, $\text{NdNi}_{4,5}\text{Al}_{0,5}$ обладают энтальпией реакции с водородом, превышающей 35 кДж/моль;
- Для использования в первой ступени водородного компрессора (0,1-1 МПа): $\text{La}_{0,8}\text{Nd}_{0,2}\text{Al}_{0,1}\text{Mn}_{0,2}\text{Co}_{0,9}\text{Ni}_{3,8}$ и $\text{La}_{0,9}\text{Ce}_{0,1}\text{Mn}_{0,3}\text{Ni}_{4,7}$ (равновесные давления 0,14 и 0,13 МПа при 20 °C и 1,3 и 1,0 МПа при 80 °C соответственно).

.Значения соответствуют требованиям ТЗ.

Предложена новая конструкция усовершенствованного металлогидридного реактора РХО-7 4. Изготовлен и испытан экспериментальный металлогидридный реактор хранения, очистки и компримирования водорода РХО-7, отличающийся от ранее разработанных реакторов типа РХО-3 наличием двух водородных штуцеров, что позволяет осуществлять прокачку загрязненного водорода через засыпку водородопоглощающего материала. Продемонстрирована работоспособность способа очистки водорода путем прокачки водородосодержащей смеси через слой металлогидрида, экспериментально проведена очистка загрязненного водорода, содержащего 5,5 %об. азота до чистоты 99,9999%. Сравнение с результатами ранее выполненных испытаний по очистке водорода с использованием методики циклирования – циклического выброса обедненной смеси из свободного объема реактора показывает, что методика прокачки дает сходные результаты при существенно меньших затратах на организацию циклического выброса смеси. Выполнена оптимизация конструкции металлогидридного реактора РХО-7, показано, что для достижения производительности 3000 нл/ч необходимо увеличить внешний диаметр реакционной камеры металлогидридного патрона РХО-7 до 80 мм, а его длину до 800 мм. В этом случае сборка из 5-9 патронов РХО-7 может обеспечивать работу металлогидридной системы хранения, очистки и компримирования водорода с расходом 3000 нл/ч в течении 3-5 часов, при этом может быть использовано низкопотенциальное тепло на уровне $T = 60-80^\circ\text{C}$.

По результатам исследований создана доработанная конструкторская документация ЭТ.066119.05.

Модульная конструкция РХО-7 и проточная схема очистки водорода позволяет гибко регулировать емкость и производительность системы силами потребителя, и заменить в системах автономного энергообеспечения и различных технологических процессах высокочистый водород по ГОСТ Р 51673-2000 и ТУ 2114-016-78538315-2008 техническим водородом по ГОСТ3022-80.

Использование разработанных металлгидридных устройств позволит снизить стоимость высокочистого водорода более чем на 10% при сроке окупаемости системы 1 год и эксплуатационной нагрузке от 100 часов в год. Создан проект технического задания на проведение ОКР «Создание опытно-промышленного образца системы хранения, теплового компримирования водорода и управления тепловыми потоками емкостью 10 нормальных м³ водорода».

Новизна: Полученные результаты являются новыми и соответствуют мировому уровню. На российском рынке в настоящее время отсутствуют металлгидридные устройства хранения и очистки водорода, существуют лишь демонстрационные образцы. Сравнение с зарубежными аналогами, представленными на рынке, показывает существенное превосходство разработанных металлгидридных реакторов по скорости зарядки/разрядки чистым водородом (до 10-100 раз) и возможности очистки водорода. В то же время разработанные системы проигрывают по массогабаритным характеристикам, что связано с использованием жидкостного охлаждения.

Внедрение: Для успешной коммерциализации полученных результатов необходимо выполнение ОКР по разработке опытно-промышленного образца многофункциональной системы твердофазного обратимого хранения и очистки водорода.

Возможные потребители: РНЦ «Курчатовский институт» - использование в составе энергоустановок на базе топливных элементов, ОАО КБХА – использование в составе экспериментальных систем водородного аккумуля-

рования энергии, Ленинградская АЭС – использование в составе металлгидридных блоков дополнительной очистки водорода для водородоохлаждаемых турбогенераторов.

5 Показатели выполнения контракта

Приводятся значения показателей контракта:

Показатель	2009 г.		2010 г.		20__ г.*		Всего	
	план	факт	план	факт	план	факт	план	факт
Объем финансирования, млн. руб.	4,7	4,92	4,7	5,0	-	-	9,4	9,9
в том числе:								
бюджетные средства, млн. руб.	2,35	2,35	2,35	2,35	-	-	4,7	4,7
внебюджетные средства, млн. руб.	2,35	2,57	2,35	2,65	-	-	4,7	5,2
Объем продаж (выручки от реализации) новой и усовершенствованной высокотехнологичной продукции, произведенной в результате реализации проекта, млн. руб.	0	0	0	-	-	-	0	0
в том числе НДС, млн. руб.								
в том числе объем экспорта новой и усовершенствованной высокотехнологичной продукции, произведенной в результате реализации проектов, млн. руб.	0	0	0	-	-	-	0	0

* Временной период, включаемый в таблицу, определяется периодом реализации контракта и сроками представления данных, указанными в контракте.

Руководитель работ по проекту



Зав. лаб. ОИВТ РАН _____

С.П. Малышенко

«10» сентября 2010 г.