

**АННОТАЦИЯ РАБОТ,
ВЫПОЛНЕННЫХ НА ОТЧЕТНОМ ЭТАПЕ № 4**

Изготовление и испытания лабораторного образца металлгидридного блока очистки водорода для водородоохлаждаемых турбогенераторов, разработка технического задания на проведение ОКР государственного контракта с Федеральным агентством по науке и инновациям от 14 августа 2008 г. № 02.516.11.6150.

Шифр:	«2008-6-1.6-10-04-009 »
Период выполнения этапа	1 июля 2009 г. – 31 октября 2009 г.
Исполнитель:	Учреждение Российской академии наук Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН) 125412, г. Москва ул. Ижорская, д.13, стр.2
Цель работы	Разработка высокоэффективных и безопасных блоков очистки и хранения водорода, использующих свойство избирательного поглощения водорода интерметаллическими сплавами, исследование процессов тепломассопереноса в засыпках водородопоглощающих материалов, разработка водородопоглощающих материалов, разработка и изготовление лабораторного образца металлгидридного блока очистки водорода

1. Наименование разрабатываемой продукции

Лабораторные образцы металлгидридных реакторов очистки водорода, содержащего примеси, специфические для водородоохлаждаемых турбогенераторов электростанций

Лабораторный образец металлгидридного блока очистки водорода для водородоохлаждаемых турбогенераторов.

2. Характеристика и результаты работы

На Этапах 1 -3 выполнены следующие работы:

1. Проведен анализ научно-технической литературы, нормативно-технической документации, статистических данных и других материалов, относящихся к эксплуатации турбогенераторов с водородным охлаждением, составу примесей в используемом водороде, методам твердофазного хранения водорода и металлгидридным устройствам, сделаны следующие выводы:

- Поддержание требуемой чистоты водорода и давления водорода в корпусе является одним из серьезных вопросов обеспечения высокой надежности и безопасности эксплуатации турбогенераторов с водородным охлаждением;
- Уменьшение плотности охлаждающего водорода обеспечивает снижение вентиляционных потерь. При неизменном давлении газа в корпусе увеличение чистоты водорода на 1 % приводит к снижению потерь на вентиляцию примерно на 10 %;
- Для используемого при охлаждении турбогенераторов водорода специфичны следующие примеси: вода, масло турбинное, кислород, углекислота, азот;
- Проведена классификация по степени воздействия примесных газов на водородсорбционные характеристики интерметаллидов;
- Показана возможность использования свойства избирательного поглощения водорода интерметаллическими сплавами для его очистки от неадсорбируемых примесей;
- Хранение водорода в твердофазном связанном состоянии осуществляется при температурах и давлениях близких к нормальным условиям отличается повышенным уровнем безопасности по сравнению с

традиционным газобаллонным хранением, требующим высоких (до 150 атм) давлений, и приемлемо по условиям безопасной эксплуатации оборудования электрических станций;

2. Разработана концепция металлгидридного блока очистки водорода для систем охлаждения турбогенераторов в составе: подсистемы предварительной очистки водорода от отравляющих примесей (пары воды, кислород), металлгидридных реакторов хранения и очистки водорода (не менее двух, для обеспечения бесперебойной работы блока очистки).

3. Модернизировано и подготовлено к проведению испытаний разрабатываемых металлгидридных реакторов и блока очистки водорода оборудование комплексно экспериментального стенда 1204 ОИВТ РАН.

4. Разработаны, созданы и испытаны экспериментальные образцы водородопоглощающих материалов на основе интерметаллических сплавов типа АВ₅. Проведены экспериментальные исследования эффектов старения поглощающих материалов, связанных с воздействием отравляющих примесей, экспериментально отработана техника регенерации поглощающих материалов. По результатам исследований изготовлена партия водородопоглощающих материалов $\text{LaFe}_{0.1}\text{Mn}_{0.3}\text{Ni}_{4.8}$ весом 10 кг для использования в металлгидридном блоке очистки водорода, равновесные давления десорбции водорода составляют 0,66 атм при 298 К и 7,6 атм при 353 К, водородная емкость свыше 1,2% масс., теплота реакции выделения водорода 40,4 кДж/моль.

5. Создана эскизная конструкторская документация, изготовлена и испытана система предварительной очистки водорода ПО-1 для использования в металлгидридном блоке очистки водорода.

6. Разработан комплект конструкторской документации на усовершенствованный металлгидридный реактор РХО-3У, отличающийся доработанным по результатам математического моделирования контуром жидкостного охлаждения.

7. Изготовлены и испытаны лабораторные образцы усовершенствованных металлгидридных реакторов РХО-3М и РХО-3У для использования в металлгидридном блоке очистки водорода от примесей, специфических для водородоохлаждаемых турбогенераторов, водородная емкость реакторов при загрузке 5 кг водородопоглощающего сплава $\text{LaFe}_{0.1}\text{Mn}_{0.3}\text{Ni}_{4.8}$ составила: 795 норм. л (РХО-3М) и 815 норм. л (РХО-3У), скорость зарядки: чистым водородом свыше 120 норм.л/мин, загрязненным водородом свыше 20 норм.л/мин.

На Этапе4 выполнены следующие работы:

1. Разработана схема металлгидридного блока очистки водорода, изготовлен лабораторный образец металлгидридного блока очистки водорода для водородоохлаждаемых турбогенераторов БО-1, включающий три металлгидридных реактора типа РХО-3 (для обеспечения бесперебойной работы блока и возможности проведения регенерации водородопоглощающего материала в третьем реакторе) и систему предварительной очистки ПО-1.

2. Проведены испытания металлгидридного блока очистки водорода БО-1. Производительность металлгидридного блока при очистке водорода с 98 %об. (соответствует требованиям ГОСТ 533-2000 по чистоте водорода в водородоохлаждаемых турбогенераторах) до 99,5 %об. Составила 5,35 нормальных $\text{м}^3/\text{ч}$, что соответствует требованиям Технического задания.

3. Выполнено математическое моделирование процессов тепломассопереноса в металлгидридных устройствах с использованием пакета прикладных программ ANES, разработанном в МЭИ (ТУ), методом моделирования нестационарных трехмерных течений однофазной многокомпонентной сплошной среды в области сложной геометрической формы, содержащей внутри твердые проницаемые или непроницаемые объекты с использованием оригинальной трехмерной математической модели, учитывающей наличие примесей в водороде. Получены данные о характеристиках теплообмена в реакторах патронного типа,

продемонстрирована работоспособность метода циклического устранения примесей из свободного объема реактора для повышения эффективности зарядки металлгидридных устройств.

4. Проведен технико-экономический анализ, в результате которого показано следующее:

- Общий объем потенциального рынка водородоохлаждаемых турбогенераторов и синхронных компенсаторов по установленной мощности превышает 66% или 215 ГВт вырабатываемой мощности;
- Увеличение и поддержание чистоты водорода в турбогенераторе на уровне, превышающем требования действующего ГОСТ 533-2000 ведет к снижению плотности водорода, уменьшению вентиляционных потерь и может привести к повышению КПД турбогенератора на величину порядка 0,1%;
- Использование металлгидридного блока является экономически оправданным, со сроком окупаемости устройства менее двух лет;

5. Основные варианты использования разработанного металлгидридного блока включают:

- Увеличение мощности турбогенератора в тех же габаритах;
- Продление срока службы выработавших свой ресурс турбогенераторов благодаря переходу к охлаждению высокочистым водородом с соответствующим снижением рабочего давления водорода в корпусе и уменьшением механических потерь;
- Дополнительное повышение чистоты водорода в системе охлаждения и компенсация суточного расхода и суточной утечки водорода.

7. Разработан проект технического задания по теме «Разработка металлгидридных блоков очистки водорода для турбогенераторов с водородным охлаждением».

Новизна применяемых решений в сравнении с другими работами, родственными по тематике и целевому назначению и определяющими мировой уровень.

В настоящее время в Российской Федерации не используются устройства для дополнительного повышения чистоты водорода в водородоохлаждаемых турбогенераторах. За рубежом предложены методики замещения использованного водорода электролизным водородом высокой чистоты, что позволяет добиваться КПД турбогенератора, но при этом существенно возрастает суточный расход водорода. Известные работы по использованию металлгидридов для очистки водорода не вышли из стадии разработки пилотных образцов. Таким образом, настоящая работа является новой и соответствует мировому уровню.

Объекты интеллектуальной собственности, созданные на отчетном этапе.

Проведенный анализ литературных данных и патентный поиск продемонстрировали возможность создания конкурентоспособных и патентно-чистых изделий на основе результатов выполненных работ. Направлена заявка на патент РФ на полезную модель «Модульный металлгидридный реактор хранения и очистки водорода»

3. Области и масштабы использования полученных результатов

3.1. Области применения полученных результатов (области науки и техники; отрасли промышленности и социальной сферы, в которых могут использоваться полученные результаты или созданная на их основе инновационная продукция).

Результаты работ по государственному контракту могут служить основой для проведения опытно-конструкторских работ в области систем водородного охлаждения турбогенераторов, систем автономного и бесперебойного энергообеспечения, генераторов водорода высокой чистоты.

Общий объем потенциального рынка водородоохлаждаемых турбогенераторов и синхронных компенсаторов по установленной

мощности превышает 66% или 215 ГВт вырабатываемой мощности. Внедрение результатов работ может привести к увеличению мощности турбогенераторов в тех же габаритах, продлению срока службы выработавших свой ресурс турбогенераторов благодаря переходу к охлаждению высокочистым водородом с соответствующим снижением рабочего давления водорода в корпусе и уменьшением механических потерь

3.2. Ход практического внедрения полученных результатов.

Разработан проект технического задания по теме «Разработка металлгидридных блоков очистки водорода для турбогенераторов с водородным охлаждением».

3.3. Оценка или прогноз влияния полученных результатов, товаров и услуг, созданных на основе полученных результатов, на развитие науки, техники, экономики и социальной сферы России.

Представленные в настоящее время на рынке технологии повышения КПД турбогенераторов за счет повышения чистоты водорода в системе охлаждения основаны на его полной замене электролизным водородом с предварительной очисткой до высокой степени чистоты. Использование металлгидридных блоков позволит существенно снизить потери водорода в ходе эксплуатации систем очистки водорода. Повышение чистоты водорода в системах охлаждения турбогенераторов мощностью до 350 МВт может снизить потери мощности на величину до 500 кВт.

4. Выводы

Работы по этапу 4 государственного контракта от 14 августа 2008 г. № 02.516.11.6150 и работа в целом выполнены в полном объеме и в соответствии с требованиями Технического задания и Календарного плана.

Руководитель работ по проекту

Зав. Лаб. ОИВТ РАН _____ С.П. Малышенко

15 октября 2009 г.