

Государственный контракт от 28 сентября 2009 г. № 02.516.11.6202

на выполнение НИР по теме «Разработка головной демонстрационной установки для получения водорода путем организации активного реагентного объема» в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (Приоритетное направление «Энергетика и энергосбережение», мероприятие 1.6 Программы)

Шифр: «2009-06-1.6-10-05-002»

Период выполнения «28» сентября 2009 г. - «01» августа 2010 г.

Исполнители: Головной исполнитель - Учреждение Российской академии наук Институт катализа им. Г.К.Борескова Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск

Соисполнители:

Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ» (ФГУП «НАМИ»), г. Москва

ООО «Газомотор-Р», г. Рыбинск

Цель работы Разработка компактной высокоэффективной установки получения водорода из углеводородного сырья для нефтехимической промышленности, предприятий автомобильного транспорта и автономной энергетики

1. Актуальность проекта

Современный этап развития водородной энергетики характеризуется переходом к разработке децентрализованных способов получения водорода из углеводородного сырья с перспективой его дальнейшего использования в качестве сырья для нефтехимической промышленности, топлива или добавок к топливу для предприятий автомобильного транспорта и автономной энергетики. Первичным источником получения водорода является углеводородное сырье (природный газ, жидкие углеводороды – бензин, дизельное топливо), которые конвертируются в случае паровой конверсии в водородсодержащий синтез газ с содержанием водорода от 66 до 74% в зависимости от вида исходного топлива. Для получения водорода с чистотой 98-99% необходимо проведение его выделения из водородсодержащего синтез газа, т.е. провести доочистку от CO и CO₂. Применительно к компактным энергоустановкам предпочтительным является использование способа мембранного выделения с применением палладиевых мембран.

Предполагаемое широкое использование водорода и водородсодержащего газа в различных областях народного хозяйства страны, в частности для нефтехимической промышленности, предприятий автомобильного транспорта и автономной энергетики вызвано необ-

ходимостью повысить эффективность использования топлива при одновременном снижении экологически вредных выбросов в окружающую среду. Несмотря на большой объем выполненных научных исследований в ряде организаций страны и имеющиеся положительные результаты лабораторных и пилотных испытаний по конверсии углеводородного сырья в водородсодержащий синтез газ и водород в стране нет производства компактных мобильных установок производительностью по водороду 100 м³ в час и выше для различных отраслей промышленности. Поэтому НИР по разработке компактной высокоэффективной опытной установки получения водорода из различных видов углеводородного сырья на универсальном катализаторе, выполняемое в рамках настоящего проекта, является важным и перспективным для будущей коммерциализации результатов. Значимость выполнения работ по проекту для Российской Федерации заключается в возможности будущей промышленной реализации перспективных научных разработок и в возможности создания нового высокотехнологичного коммерческого продукта, каким являются универсальные установки получения водорода из различных видов углеводородного сырья.

2. Разрабатываемая продукция

2.1 Номенклатура продукции, разрабатываемой в рамках проекта

- Лабораторная технология создания активного реагентного объема со структурированным катализатором, пригодным для конверсии различных видов углеводородного сырья (природный газ, дизельное топливо) в синтез газ.
- Конструкторская документация на демонстрационную установку для конверсии углеводородного сырья (природного газа, дизельного топлива) в водородсодержащий газ.
- Демонстрационная установка для конверсии углеводородного сырья (природного газа, дизельного топлива) производительностью по водородсодержащему газу 5 м³/час.
- Модернизированный экспериментальный стенд для проведения испытаний демонстрационной установки конверсии углеводородного сырья (природный газ, дизельное топливо) в водородсодержащий газ и отработки режимов ее работы.
- Математические модели и программы для расчета реакторов паровой конверсии природного газа и дизельного топлива. Результаты расчетов для 4-х вариантов реакторов: паровой конверсии природного газа без узла мембранного выделения водорода; паровой конверсии дизельного топлива без узла мембранного выделения водорода; паровой конверсии природного газа при наличии узла мембранного выделения водорода; паровой конверсии дизельного топлива при наличии узла мембранного выделения водорода.

- Проект технического задания на ОКР для разработки опытной установки (в четырех вариантах реализации) получения водорода из углеводородного сырья производительностью по водородсодержащему газу 100 м³/час с содержанием водорода в смеси до 72-74% (при использовании природного газа) и 66-68% (при использовании жидких топлив) без дополнительной очистки и 98-99% при использовании мембранного выделения водорода.
- Варианты технологических схем с использованием различных реакторов и расчетом материальных и тепловых балансов для установок производительностью по водородсодержащему газу 100 м³/час (в четырех вариантах реализации).

2.2 Характеристика разрабатываемой продукции

Сравнительные технические характеристики установок получения водородсодержащего газа из различных видов топлив и сравнение с достигнутыми в проекте.

Фирма разработчик	Вид топлива	Производительность по водородсодержащему газу, м ³ /час	Удельная производительность, м ³ /час литр *	Год разработки
IDATECH	Природный газ	5	0.03	2005
RWE Fuel Cells GmbH	Природный газ	45	0.08	2005
HEXION	Природный и сжиженный газ	5	0.02	2005
IDATECH	Природный газ	5.2	0.03	2006
Plug Power	Природный газ	5	0.01	2006
CNR-ITAE	Природный и сжиженный газ	5-8.5	0.01	2006
Acumentrics	Природный и сжиженный газ	30	0.018	2007
Rieser Brennstoffzellentechnik GmbH	Природный газ	10	0.027	2007
Baxi Innotech	Природный газ	10	0.021	2007
WS Flows Compact Reformer	Природный газ, биогаз	5.5	0.083	2009
Государственный контракт № 02.526.11.6005	Природный газ	1.5-7.5 7.5-15	0.18	2008
Демонстрационная установка, разработанная в проекте	Природный газ, дизельное	5	14.5 на единицу объема активного реагентного объе-	2009-2010

	<i>топливо</i>		<i>ма, или 1.45 м³/час на литр объема ре- актора конверсии демонстрационной установки</i>	
--	----------------	--	--	--

* Удельная производительность по водороду, рассчитанная на единицу объема реактора генерации водорода.

Из сравнительных данных, приведенных в таблице, очевидно, что разработанная в рамках проекта демонстрационная установка производительностью 5 м³/час значительно превосходит известные зарубежные и отечественный аналоги по удельной производительности по водородсодержащему газу, рассчитанной на единицу объема реактора конверсии.

Новизна полученных результатов и их принципиальное отличие от существующих решений заключается в использовании нового типа реакторов конверсии углеводородного сырья, а также в разработке универсального катализатора, одинаково пригодного как для паровой конверсии природного газа, так и дизельного топлива.

3. Характеристика выполненных работ

3.1. Результаты работы

На основании проведенного анализа литературных данных и патентных исследований определены основные тенденции при разработке катализаторов паровой конверсии углеводородных топлив: в качестве активного компонента используется никель, а в качестве носителя - соединения на базе церия, циркония.

Разработана и теоретически обоснована концепция создания активного реагентного объема посредством его структуризации. При такой организации процесса в эндотермических каналах будет находиться структурированный теплопроводный катализатор паровой конверсии, а в экзотермических каналах – генерироваться тепло, необходимое для передачи его в эндотермические каналы. Разработаны математические модели для описания процессов в реагентном объеме и по результатам численного анализа рекомендован вариант с пространственно-разделённым сжиганием части топлива в нагревательном устройстве и подачей горячего дымового газа в структурно организованные экзоканалы.

Разработана конструкторская документация на демонстрационную установку для конверсии углеводородного сырья (природного газа, дизельного топлива) производительностью по водородсодержащему газу 5 м³/час с содержанием водорода в смеси до 72-74% (при использовании природного газа) и 66-68% (при использовании жидких топлив). Установка изготовлена и проведены ее испытания в составе модернизированного экспериментального стенда. Результаты испытаний показали, что при варьировании расходов реагентов в диапазоне 8-20 литров в час природного газа и 0.5-1.0 кг в час дизельного топлива достигается ус-

тойчивая конверсия углеводородного сырья при достижении производительности по водородсодержащему газу 5 м³/час. Во всех случаях концентрация водорода в продуктах реакции соответствовала 72-74% при использовании природного газа и 66-68% при использовании дизельного топлива и была близка к равновесной при давлении 2-5 ат. и температуре 700-800⁰С в демонстрационной установке. Содержание метана в продуктах конверсии не превышало 1 %. Удельная производительность активного реагентного объема составила 14,2 л Н₂/(час см³ катализатора).

Проведен анализ современного состояния разработок по мембранному выделению водорода из водородсодержащего газа. Показано, что применение мембранного разделения позволяет значительно сократить объем реактора при одновременном повышении производительности. На основании проведенного анализа предложена конструкция мембранного блока выделения водорода.

Подготовлен проект технического задания на ОКР на разработку компактной опытной установки производительностью по водородсодержащему газу 100 м³/час в четырех вариантах. Установка состоит из следующих основных узлов: сероочистки, риформинга углеводородного топлива, балансовых теплообменников для обеспечения и поддержания тепловых режимов узлов ДУ и рекуперации тепла (при необходимости), топочного устройства для получения горячих дымовых газов, служащих источником тепла для испарения воды, дизельного топлива и проведения реакции паровой конверсии углеводородных топлив, мембранного выделения водорода.

Сформулированы технические, конструкторские, эксплуатационные и прочие требования к компактной установке получения водорода. Разработаны варианты технологических схем с расчетом материальных и тепловых балансов для установок производительностью по водородсодержащему газу 100 м³/час. Рассмотрены 4 варианта решений для реализации установок получения водорода с различными видами топлив и наличием (или без) узла мембранного разделения.

Проведена технико-экономическая оценка рыночного потенциала полученных результатов, из которого следует, что рыночные перспективы применения результатов проекта основываются на: перспективности применения водорода, как топлива для транспортных средств, возможности использования водорода в качестве добавок к топливу и переходом к работе на разбавленных топливных смесях, снижения расхода топлива и уменьшения эмиссии вредных выбросов, отсутствием в России подобных универсальных установок получения водорода из различных видов углеводородных топлив для водородных заправок, процессов органического синтеза, нефтехимии, проведения процессов сероочистки дизельного топлива, использованием побочных результатов проекта таких, как разработанное стендовое оборудование,

математическое обеспечение в виде математических моделей, программ и методик, оказанием услуг по использованию результатов проекта. Возможные перспективы использования результатов проекта приведены в нижеследующей таблице.

Таблица. Перспективы использования результатов проекта.

№ п/п	Организация	Подтверждающие документы	Потребность в установках	Объем финансирования, млн. руб
1	ФГУП «ЦНИИСЭТ», г. Санкт-Петербург	Госконтракт № 02.516.11.6202	2010 -1 шт 2011 – 5 шт	7.5 37.5
2	РФЯЦ «ВНИИТЭФ», г. Снежинск	Госконтракт № 9411.1007400.09.052	2010 -1 шт 2011 – 5 шт	2.5 12.5
3	ОАО «ВНИИГАЗ», г. Москва	Протокол о намерениях	2010 -5 шт 2011-2012 -20 шт	В стадии обсуждения
4	Ракетно-космический Центр «ЦСКБ - ПРОГРЕСС», Г. Самара	Протокол о намерениях	2010-2012 1 шт на производительность 1000 м ³ /час	В стадии обсуждения проекта по космодрому «Восточный», стоимость проекта 100.00
5	ВПК при правительстве РФ, г. Москва	Протокол совещания от 7 июля 2010 года	уточняется	уточняется
6	Запросы частных предпринимателей	Письма обращения	20	1.0

При выполнении работ по проекту были привлечены внебюджетные средства в объеме 2,1 млн. рублей. Они были использованы на выполнение подготовительных работ по разработке конструкторской документации на демонстрационную установку производительностью по водородсодержащему газу 5 м³/час, изготовление демонстрационной установки, разработку программ и методик проведения испытаний демонстрационной установки, подготовку исходных данных для проекта технического задания для компактной установки получения водорода из углеводородного сырья производительностью по водородсодержащему газу 100 м³/час с содержанием водорода в смеси до 72-74% (при использовании природного газа) и 66-68 % (при использовании жидких топлив) без дополнительной очистки и 98-99% при использовании мембранной очистки.

3.2. Получены охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД):

1. Патент № 2429072 «Катализатор, способ его приготовления и способ получения синтез-газа», опубликовано 20.09.2011 г., РФ.

2. Патент № 2446092 «Бортовой генератор для получения синтез-газа», опубликовано 27.03.2012 г., РФ.

3.3 По результатам работы опубликовано 3 статьи в ведущих отечественных и зарубежных изданиях, защищена 1 диссертация на соискание кандидата химических наук.

4. Области и масштабы использования полученных результатов.

Результаты проведенных НИР могут быть использованы для проведения опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, направленных на создание опытно-промышленных установок производства водорода для нефтехимической промышленности, предпри. **Форма коммерциализации результатов проекта**

Коммерциализация результатов проекта возможна в форме передачи:

- технической документации на демонстрационную установку,
- изготовлению демонстрационной установки,
- технической документации на испытательный стенд,
- математических моделей и программ для расчета реакторов конверсии углеводородных топлив,
- наработке партий катализаторов и передачи их различным потребителям,
- технического задания на опытную установку производительностью 100 м³/час получения водородсодержащего газа заинтересованным организациям с последующей организацией производства таких установок,
- оказанию различных услуг по проведению консультаций и обучению работе на демонстрационной установке.

6. Показатели выполнения контракта

Показатель	2009 г.		2010 г.		Всего	
	план	факт	план	факт	план	факт
Объем финансирования, млн. руб.	5,9	5,9	6,2	5,0	12,1	10,9
в том числе:						
бюджетные средства, млн. руб.	5,0	5,0	5,0	3,8	10,0	8,8
внебюджетные средства, млн. руб.	0,9	0,9	1,2	1,2	2,1	2,1
Объем продаж (выручки от реализации) новой и усовершенствованной высокотехнологичной продукции, произведенной в результате реализации проекта, млн. руб.	-	-	-	-	-	-
в том числе НДС, млн. руб.	-	-	-	-	-	-
в том числе объем экспорта новой и усовершенствованной высокотехнологичной продукции, произведенной в результате реализации проектов, млн. руб.	-	-	-	-	-	-

Руководитель работ по проекту
Зав. лабораторией Института катализа СО РАН,
д.т.н. В.А. Кириллов
2010 г.