

**Резюме проекта НИР, выполненного
в рамках ФЦП
«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития
научно-технологического комплекса России на 2007 – 2013 годы»
по этапу № 4**

Номер контракта: 16.516.11.6032

Тема: Разработка научно-технологических решений для создания водородных систем аккумулирования электрической энергии для нужд централизованной и автономной энергетики

Приоритетное направление: Энергоэффективность и энергосбережение

Критическая технология: Технологии водородной энергетики

Период выполнения: С «19» апреля 2011 г. по «5» ноября 2012 г.

Плановое финансирование проекта: 11.3 млн. руб

Бюджетные средства - 9.6 млн. руб.,

Внебюджетные средства - 1.7 млн. руб.

Исполнитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13 строение 2.

Ключевые слова: Водородная система аккумулирования энергии, водородосжигающие установки, термодинамические исследования, схемный анализ.

1. Цель исследования, разработки

Разработка научно-технологических решений для создания современных накопителей электрической энергии для нужд централизованной и автономной энергетики, предназначенных для покрытия неравномерности нагрузки в энергетических сетях, создания систем аварийного, резервного и бесперебойного питания потребителей.

Разработка и создание научно-технологических решений для водородных систем аккумулирования электрической энергии киловаттного и мегаваттного классов мощности для нужд централизованной и автономной энергетики на основе водородосжигающих технологий. Создание экспериментального образца водородо-кислородного парогенератора тепловой мощностью до 200 кВт с модернизированной камерой сгорания, обеспечивающего выход на номинальный режим не более чем за 10 секунд.

2. Основные результаты проекта

На первом этапе проведены подготовительные работы для обеспечения дальнейшего успешного выполнения государственного контракта. Проведенный анализ литературы и патентные исследования показали, что на следующих этапах возможно получение исключительных прав на объекты интеллектуальной собственности.

В результате проведения сравнительной оценки эффективности возможных направлений исследований показано, что наиболее эффективным способом аккумулирования электроэнергии для централизованной энергетики являются ГА-

ЭС и воздухоаккумулирующие станции, которые отличаются высоким коэффициентом рекуперации и низкой стоимостью выдаваемой электроэнергии. Вместе с тем, для их строительства требуется наличие специфического рельефа местности, что ограничивает их использование, в особенности на равнинных территориях для ГАЭС. Для автономной энергетики чаще всего используют электрохимические аккумуляторы, что связано с возможностью их размещения практически в любом месте. Суперконденсаторы, с учетом их высокой удельной стоимостью находят применение в основном в узкоспециализированных и военных областях. Для создания эффективных маховичных аккумуляторов требуется разработка новых высокопрочных материалов.

Водородные аккумулирующие системы могут быть использованы как для автономной, так и для централизованной энергетики, при этом проведенные сравнительные расчеты показывают, что срок их окупаемости может быть примерно в 2 раза ниже, чем у ГАЭС. Для автономной энергетики основными преимуществами водородных систем являются более высокий ресурс и отсутствие потерь при длительном хранении.

Таким образом, в настоящее время водородные системы аккумулирования являются конкурентоспособными с традиционными аккумуляторами как в области автономной так и централизованной энергетики.

На основе разработанной конструкторской документации водородо-кислородного парогенератора и модернизированной камеры сгорания в дальнейшем планируется их изготовление и проведение экспериментальных исследований.

В результате подготовки экспериментального стенда к проведению испытаний на нем проведены необходимые регламентные работы, установлены регуляторы расхода водорода и кислорода, проведена настройка системы управления, осуществлена промывка баков с охлаждающей водой.

На втором этапе настоящего государственного контракта выполнен сравнительный термодинамический и технико-экономический анализ перспективных технологий аккумулирования электроэнергии в зависимости от уровня мощности и графиков производства и потребления энергии, проведено математическое моделирование тепловых напряжений в камере сгорания водородосжигающей установки, возникающие при ее кратковременном выходе на максимальную тепловую мощность и резком изменении тепловой мощности и определены допустимые режимы работы камеры сгорания, создана модернизированная камера сгорания для экспериментального образца водородо-кислородного парогенератора тепловой мощностью до 200 кВт, обеспечивающая выход на номинальный режим за 10 секунд, не более и проведены ее пуско-наладочные испытания на экспериментальном стенде.

В результате выполнения сравнительного термодинамического и технико-экономического анализа перспективных технологий аккумулирования электроэнергии выяснено, что системы водородного аккумулирования электроэнергии могут быть конкурентоспособными по сравнению с другими технологиями аккумулирования в широком диапазоне мощностей. Показано, что при уровне мощностей более 100 МВт водородные системы аккумулирования с водородосжигающими установками на равнинных территориях могут иметь меньший срок окупаемости, по сравнению с гидроаккумулирующими электростанциями, а при

уровне мощностей до 10 МВт обладают более низкой удельной стоимостью и более высоким ресурсом, по сравнению с электрохимическими и маховичными аккумуляторами, а также суперконденсаторами.

В результате проведения математического моделирования тепловых напряжений посчитаны термические напряжения в модернизированной камере сгорания водородо-кислородного парогенератора тепловой мощностью до 200 кВт. Показано, что при заданной тепловой нагрузке и в бронзе и в стали напряжения ниже предельных ($[\sigma_{\text{бронза}}] = 4 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$ и $[\sigma_{\text{сталь}}] = 6 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$). Рассмотрены варианты с использованием различного количества ребер, на поверхности охлаждаемой стенки камеры сгорания, показано, что с ростом числа ребер напряжения на внутренней поверхности камеры сгорания уменьшаются. Также рассмотрены варианты различных режимов работы модернизированной камеры сгорания и определено, что при расчетной номинальной мощности, максимальные тепловые напряжения составляют 80 % от допустимых, таким образом, допустимыми режимами работы модернизированной камеры сгорания являются режимы от 30 до 110 % от ее номинальной мощности.

В результате создания модернизированной камеры сгорания для экспериментального образца водородо-кислородного парогенератора тепловой мощностью до 200 кВт были повышены ее динамические характеристики по сравнению с предыдущим образцом, в результате чего ее время выхода на номинальный режим составляет менее 10 сек. Это стало возможным благодаря введению двухконтурного охлаждения, при этом в первом контуре (цилиндрическая часть) для охлаждения может использоваться как вода, так и водород, а во второй контур (сопловая коническая часть) подается вода, необходимая для надежного охлаждения сопловой части.

В результате проведенных пуско-наладочных испытаний подтверждена правильность выбора конструктивной схемы модернизированной камеры сгорания водородо-кислородного парогенератора тепловой мощностью до 200 кВт и ее работоспособность при пусковом и основном режимах. Проведена оценка устойчивости рабочих процессов в модернизированной камере сгорания и эффективности охлаждения модернизированной камеры сгорания и блока подачи балластировочной воды, которые оказались удовлетворительными.

На третьем этапе настоящего государственного контракта создан экспериментальный образец водородо-кислородного парогенератора тепловой мощностью до 200 кВт и проведена его подготовка к проведению испытаний и экспериментальных исследований тепловых процессов.

Проведенные 2 испытания экспериментального образца водородо-кислородного парогенератора тепловой мощностью до 200 кВт с модернизированной камерой сгорания в целом показали его работоспособность, при этом в результате проведенных испытаний выявлено, что размер проходного сечения на выходе из камеры сгорания должен быть увеличен, для исключения закипания охлаждающей воды. Принятые изменения учтены при разработке откорректированной конструкторской документации.

В результате проведения экспериментальных исследований выполнена проверка соответствия объекта экспериментальных исследований требованиям пункта № 6.1.1. технического задания, в т.ч. номинальная тепловая мощность ЭБПГ составляет 200 кВт, время запуска и выхода на номинальный режим рабо-

ты составляет 8-10 секунд, температура производимого пара составила от 570 до 1200 К. Проведена работа ЭБПГ на переменных режимах в диапазонах мощностей от 65 до 227 кВт (32,5 до 113,5 % от номинальной). Изучена неравномерность поля температур на выходе из ЭБПГ и проведена доработка конструкции КС для ее снижения. Изучен состав генерируемого пара на выхлопе из ЭБПГ при различных режимах работы.

В результате реализации мероприятий по достижению технико-экономических показателей показано, что параметры водородных аккумулирующих систем позволяют аккумулировать 4-5 % электроэнергии, производимой объектом централизованного энергоснабжения и до 35 % для объекта автономного энергоснабжения, повышают маневренность объекта централизованного и автономного энергоснабжения на 10 %, обеспечивают возможность кратковременного увеличения выдаваемой потребителю электрической мощности не менее чем на 10 % от номинальной мощности для объекта централизованного энергоснабжения и на 50 % для объекта автономного энергоснабжения, а также снижают характерное время выхода на режим максимальной мощности до 10 секунд.

Основным узлом, требующим применения импортного оборудования является электролизер. В России существуют возможности по импортозамещению электролизеров, однако существующие электролизеры требуют снижения энергопотребления при электролизе и подготовке к промышленному производству существующих экспериментальных образцов.

При сравнении с ГАЭС оценочная площадь водородной аккумулирующей системы аналогичной мощности составляет 1,5-2 гектара или 56-42 кВт/м², т.е. ее удельная мощность в 350-370 раз больше чем у ГАЭС.

Стоимостные оценки сравнения ГАЭС и водородной системы аккумулирования показывают, что снижение затрат на строительство новых аккумуляторных мощностей на основе ВАЭС по сравнению с существующими гидроаккумулирующими электростанциями на равнинных территориях РФ составляет более 300 долл. США/кВт.

Расчетная удельная мощность водородной системы аккумулирования составляет 800-1100 Вт/кг, что 2-5 раз больше чем у лучших электрохимических аккумуляторов, при этом расчетный ресурс в 2-3 раза больше, чем у электрохимических аккумуляторов.

Проведена корректировка эскизной конструкторской документации по результатам экспериментальных исследований и математического моделирования.

На 4 этапе представлены результаты обобщения теоретических и экспериментальных исследований и сопоставление их с результатами анализа научно-информационных источников. Обобщение полученных в ходе выполнения государственного контракта теоретических и экспериментальных данных позволило оценить полноту поставленных задач и сравнить их с результатами анализа информационных источников. В целом, полученные данные соответствуют современному мировому уровню, а экспериментальные данные, полученные в ходе испытаний водородо-кислородного парогенератора тепловой мощностью до 200 кВт, получены впервые в мире.

Выполненная оценка эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем показала, что разработанные схем-

ные решения водородных систем аккумулирования энергии позволяют обеспечить строительство более дешевых и экологически чистых аккумуляторов для энергетики. Разработанная конструкция водородо-кислородного парогенератора позволяет обеспечить импортозамещение зарубежных электролизеров, что позволит сэкономить в ближайшие 10 лет до 12-15 млрд. долл., при успешной реализации энергетической стратегии России до 2025 г. При этом, полученные в ходе выполнения НИР результаты превосходят мировой уровень. Проведенный анализ выполнения требований технического задания на НИР и оценка полноты решения задач и достижения поставленных целей показали, что все основные требования, задачи и цели НИР выполнены в полном объеме.

Технико-экономическая оценка рыночного потенциала полученных результатов НИР показала, что учитывая необходимость создания и введения в эксплуатацию к 2030 г. около 10 млн. кВт маневренных мощностей и возможности решения этой задачи путем создания наряду с новыми ГАЭС относительно дешевых водородоаккумулирующих электрических станций (ВАЭС), обеспечивающих производство пиковых и полупиковых мощностей на уровне 10% от мощности ЭС без создания новых типов турбин, можно оценить объем перспективного внутреннего рынка разрабатываемой новой техники в 2-5 ГВт установленной мощности к 2030 г., что при цене оборудования на уровне 400 долл./кВт соответствует затратам от 800 до 2000 млн. долл. Автономные и резервные водородные паротурбинные энергоустановки мощностью 3-5 МВт(э) уже сегодня востребованы предприятиями, имеющими водород в качестве побочного продукта и их выход на рынок не зависит от темпов реализации программы строительства АЭС и угольных ТЭС в европейской части России. Поэтому выход на рынок при успешном завершении работ можно прогнозировать на 20-е годы текущего столетия, а организацию опытно-промышленного мелкосерийного производства на уровне 2014-2016 гг.

Проведен анализ результатов НИР, который показал, что полученные результаты, в частности схемные решения для объектов централизованной и автономной энергетики могут быть использованы в реальном секторе экономики, а также в дальнейших исследованиях и разработках. На основе проведенного анализа разработаны рекомендации по дальнейшему использованию полученных результатов.

3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках исследования, разработки

Полезная модель заявка № 2011143618 от 31.10.2011 «Водородная аккумулирующая система для централизованной энергетики», РФ.

Полезная модель заявка № 2012142483 от 05.10.2012 «Водородно-кислородный парогенератор с комбинированным охлаждением камеры сгорания».

4. Назначение и область применения результатов проекта

- в составе модернизируемых и вновь создаваемых энергоблоков ТЭЦ для покрытия неравномерности графика нагрузки и создания дополнительных пиковых и маневренных мощностей. Такая система (присоединенная водородо-кислородная установка) позволит электростанции работать в наиболее экономичном базовом режиме. Одновременно с этим возрастет КПД электростанции

за счет использования высокотемпературного водяного пара для перегрева пара перед турбиной. Согласно энергетической стратегии РФ до 2030 г. потребность в пиковых и маневренных мощностях составит около 10 ГВт;

- в составе автономной энергоустановки, например, для нужд сельского хозяйства, отопления и электроснабжения крупных поселков коттеджного типа, энергоснабжения крупных промышленных предприятий, производящих водород в качестве побочного продукта. Рынок водорода, произведенного в качестве побочного продукта, оценивается в 30-50 тонн/год;

- создание мобильных аккумулирующих энергоустановок для транспорта. В настоящее время опытные образцы создали, например, «DaimlerCrysler», «FIAT», «Ford», «General Motors», «Honda», «Hyundai», «Nissan», «Toyota», «Volkswagen», ВАЗ), автобусы (например, «MAN», «Neoplan», «Renault») и другие транспортные средства, военные корабли и субмарины.

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Внедрение разрабатываемых систем аккумулирования для централизованной и автономной энергетики на основе водородных технологий позволит в 2-3 раза снизить стоимость строительства аккумулирующих установок (по сравнению с ГАЭС) для централизованной энергетики и в 4-5 раз увеличить их ресурс для автономной энергетики (по сравнению с электрохимическими аккумуляторами). Снижение стоимости позволит более эффективно решить проблему строительства пиковых и маневренных мощностей для реализации энергетической стратегии России до 2030 г.

6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

Данным контрактом коммерциализация не предусмотрена.

Заместитель директора
ОИВТ РАН



В.А. Зейгарник

Заведующий лабораторией №

2.7. ОИВТ РАН



С.П. Малышенко

М.П.

