

Резюме проекта, выполняемого

в рамках ФЦП

«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

по этапу № 2/итоговый

Номер Соглашения Электронного бюджета: 075-15-2019-1825, Внутренний номер соглашения 05.607.21.0313

Тема: «Разработка передовых технических и цифровых решений для создания и эффективного использования долгосрочных водородно-воздушных накопителей энергии в распределенной энергетике»

Приоритетное направление: Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика (ЭЭ)

Критическая технология:

Период выполнения: 02.12.2019 - 30.11.2020

Плановое финансирование проекта: 101.70 млн. руб.

Бюджетные средства 60.00 млн. руб.,

Внебюджетные средства 41.70 млн. руб.

Получатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный технический университет"

Индустриальный партнер: Акционерное общество "Научно-исследовательский институт лопастных машин"

Ключевые слова: Сжатый воздух, водородно-воздушный генератор газа, математическое моделирование, возобновляемые источники энергии, накопители энергии

1. Цель проекта

Разработка и экспериментальная апробация новых технических решений по созданию долгосрочных водородно-воздушных накопителей энергии с повышенной автономностью и емкостью, предназначенных для длительного аккумулирования при работе в системах распределенной энергетике.

Реализация результатов проекта обеспечит условия по снижению вредного воздействия на экологию за счет внедрения безаккумуляторной технологии накопления энергии.

2. Основные результаты проекта

На основании разработанной математической модели проведено моделирование процесса смесеобразования в водородно-воздушном генераторе газа методом контрольных объемов. Качественные характеристики уровня формирования топливной смеси позволяют сделать выбор в пользу пяти форсунок. По результатам моделирования горения определен необходимый массовый расход воздуха, который позволил эффективно охладить стенки генератора газа. Определена температура смеси продуктов сгорания на выходе из генератора газа, которая обеспечит условия жаропрочности лопаток турбины.

В результате расчета напряженно-деформированного состояния генератора газа, разработана эскизная конструкторская документация и изготовлены варианты экспериментального образца смесительного элемента и экспериментальный образец водородно-воздушного генератора газа.

Особенностью разработанной конструкции камеры сгорания газогенератора является сохранение высокой эффективности по смешиванию продуктов сгорания и воздуха в широком диапазоне относительных расходов.

С использованием доработанного экспериментального стенда проведены исследовательские испытания генератора газа и смесительных элементов, которые показали, что планируемые значения температур газа достигнуты и не превышают критических значений. Определено, что наиболее теплонапряженная зона находится на расстоянии $7 \div 9$ см от огневого дна смесительного элемента. Для повышения надежности камеры сгорания в этой зоне необходимо осуществлять дополнительное охлаждение либо снижать тепловые нагрузки за счет увеличения диаметра камеры сгорания в этой области.

В результате выбора эффективного решения долгосрочного накопления энергии установлено, что использование водорода позволяет решить основную проблему воздушно-аккумулирующих газотурбинных электростанций, связанную с большими объемами хранилищ и использованием дополнительного топлива для подогрева, путем создания комбинированной водородно-воздушной газотурбинной системы аккумулирования.

При разработке алгоритмов заряда и разряда системы накопления проведены расчеты, которые определили оптимальные количества водорода и кислорода, необходимые для прохождения осенне-зимнего периода и обеспечения полной автономности энергоснабжения. Удельная стоимость установленной мощности водородно-воздушной системы аккумулирования энергии составила 1218 \$/кВт, а удельная стоимость запасаемой энергии 234 \$/кВтч.

В результате проведенного анализа, хранилищ водорода, кислорода и воздуха для водородно-воздушной системы долговременного аккумулирования энергии, предложены наиболее оптимальные схемы для осуществления хранения систем аккумулирования до и более 500 МВт×ч. Рассмотрено расположение хранилищ основных компонентов и основных объектов, для автономной системы энергоснабжения базы в районе Тахтаюмска, Магаданской области с номинальным потреблением мощностью 100 кВт.

Разработанная методика оценки эффективности и конкурентоспособности накопителей энергии долгосрочного хранения показала, что в перспективе 1 ÷ 20 лет системы долговременного накопления энергии на основе водорода и синтетического метана могут превзойти по эффективности гидроаккумулирующие станции и достигнуть уровня $0,15 \div 0,17$ евро/кВтч. При этом минимальная удельная стоимость электрической энергии может опуститься до 0,08 евро/кВтч, что сделает такие системы конкурентоспособными не только в странах с высокими рыночными ценами на электроэнергию, но и в Российской Федерации. Проект может считаться эффективным, т.к. все значения NPV положительны, значение ожидаемой величины чистой текущей стоимости 48791,04 тыс. руб. достаточно высоко, среднеквадратичное отклонение, характеризующее степень разброса возможных результатов NPV небольшое и коэффициент вариации, равный $Cvar=0,21$ невысок. Вышесказанное говорит о незначительном риске данного проекта, также проект следует признать эффективным.

На основе проведенной оптимизации газовой турбины получены следующие оптимальные значения в уточненном диапазоне:

- средний диаметр лопаток рабочего колеса турбины (мм) от 119 до 121;
- угол установки сопла в сопловом аппарате (градусы) от 14,5 до 15,5;
- угол установки лопатки в рабочем колесе турбины (градусы) от 22,8 до 23,2.

Проведено компьютерное моделирование газовой турбины, позволившее проанализировать течения газа в проточной части и напряженно-деформированное состояние корпуса турбины. При максимальной температуре в газогенераторе равной 1073 К допустимые напряжения составляют величину 66,7 МПа при этом максимальные мембранные напряжения в конструкции равны ~ 55,3 МПа, что удовлетворяет критерию прочности с запасом 1,2 и подтверждает прочность конструкции корпуса турбины.

По разработанной конструкторской документации изготовлен и испытан экспериментальный образец газовой турбины. По результатам испытаний получена зависимость КПД турбины от числа Парсонса и зависимость массового расхода от соотношения p_1/p_2 для различных режимов работы турбины. Корпус газовой турбины ВГТУ.1.19-002.010.00 имеет величину приведенного расхода не менее 80 мм², и отношение давления выхода к давлению на входе при котором течение газа переходит на дозвуковой режим составляет не менее 0,6.

Полученные результаты проекта полностью соответствуют требованиям к выполняемым работам; экспериментальные образцы смесительного элемента и водородно-воздушного генератора газа полностью соответствуют техническим требованиям к научно-техническим результатам ПНИР согласно техническому заданию проекта.

3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

1. Полезная модель, заявка № 2020120064 от 10.06.2020 "Газогенератор", РФ
2. Полезная модель, заявка № 2020125415 от 22.07.2020 "Газогенератор", РФ
3. Полезная модель, заявка № 2020130542 от 15.09.2020 "Газогенератор", РФ

4. Назначение и область применения результатов проекта

Широкое практическое внедрение возобновляемых источников энергии с одной стороны открывает простор для развития малой энергетики в труднодоступных регионах, а с другой – требует мер по компенсации как суточных, так и сезонных неравномерностей генерации таких источников и согласованию с графиками нагрузки потребителя. При этом актуальной представляется задача длительного аккумулирования избыточной выработки ВИЭ в периоды малого потребления для последующего срабатывания этой энергии при недостаточной выработке с целью повышения степени замещения органического топлива.

Разработанная математическая модель процесса смесеобразования в водородно-воздушном генераторе газа может применяться при создании новых и повышении эффективности существующих устройств подобного класса и назначения.

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Социально-экономический эффект от реализации работы будет связан со снижением антропогенных выбросов вредных веществ, образованных при сгорании органического топлива в том числе за счет возможности более широкого использования энергоустановок на основе ВИЭ для автономного круглогодичного энергоснабжения.

Результаты работы по проекту будут способствовать решению задач по созданию эффективных, экологически чистых и недорогих систем аккумулирования энергии, которые смогут обеспечить относительно низкую стоимость хранения энергии при широком диапазоне температур окружающей среды, что особенно актуально при создании автономных систем энергоснабжения на основе ВИЭ.

6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

На основе договора с промышленным партнером результаты, полученные в ходе проведения ПНИР будут внедрены в производство АО «НИИ ЛМ», г. Воронеж.

Потенциальными потребителями результатов работ могут быть ООО «Хевел», ПАО «Русгидро», ПАО «РАО Энергетические системы Востока» и др.

7. Наличие соисполнителей

Организация-соисполнитель по проекту – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН). Данная организация привлекается на всех этапах выполнения проекта.

ОИВТ РАН привлекался к выполнению работ в 2019 г. и 2020 г.

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный технический университет"

Временно исполняющий обязанности ректора

(должность)

(подпись)

Проскурин Д.К.

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель работ по проекту

Профессор

(должность)

(подпись)

Кретинин А.В.

(фамилия, имя, отчество)

М.П.