

В ходе работ были исследованы механические характеристики КМ на образцах, работоспособность модели по переходной части перо-хвостовик, характеристики усталостной прочности, эрозионная и коррозионная стойкость.

Лопатка направляющего аппарата ТРДД разрабатывалась из КМ типа С-Mg. Были проведены исследования по обоснованию выбора материала с определением фи-

зико-механических характеристик на образцах в соответствии с ASTM. Образцы изготавливались по технологии производства лопаток. Анализ результатов экспериментального исследования, прочностных расчетов позволил отработать облик лопаток НА из КМ, причем в качестве средства по защите лопатки было принято покрытие поверхности эмалью.

УДК 629.7.036

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ОБЛИК КОМБИНИРОВАННЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА БАЗЕ ГТУ И ТОТЭ

Лоскутников А. А.<sup>1</sup>, Горюнов И. М.<sup>2</sup>, Бакиров Ф. Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Научно-производственное предприятие «Мотор», г. Уфа

<sup>2</sup>Уфимский государственный авиационный технический университет

## THERMODYNAMIC SHAPE OF THE COMBINED POWER INSTALLATIONS, BASED ON GTU AND SOLID OXIDE FUEL CELLS

*Loskutnikov A. A., Gorjunov I. M., Bakirov F. G. The consideration of solid oxide fuel cell's calculation algorithm to raise the possibilities of program complex DVIGwT. The results of testing SOFC's calculation research were compared with experiment's results. Combined power installations; solid oxide fuel cell; steam-water conversion; structural – parameter synthesis and analyses.*

Повышение экономичности и удельной мощности энергетических установок (ЭУ) неразрывно связано с применением сложных термодинамических циклов, осуществление которых требует использования помимо газотурбинных (ГТУ), широкого спектра различного оборудования, например, топливных элементов (ТЭ) [5]. Надежность работы таких комбинированных энергоустановок (КЭУ) на базе ГТУ и ТЭ в целом, необходимо обеспечить на стадии проектирования. Полномерная реализация этой задачи возможна лишь при использовании информационных технологий, позволяющих существенно сократить сроки и затраты финансовых средств на математическое моделирование и проектирование ЭУ [1,4].

Широкое внедрение в практику создания КЭУ конкретных систем автоматического проектирования (САПР) позволило решать лишь отдельные тактические задачи создания сложных ЭУ различных тепловых схем [2].

На сегодняшний день особое внимание необходимо уделить модулю расчета ТЭ при создании таких комплексов.

Отмечено, что имеющиеся в настоящее время программные комплексы расчета параметров различных КЭУ на базе ГТД и ТЭ имеют в своей основе основную проблему - отсутствие модуля расчета ТЭ, базирующегося на учете внутренних электрохимических процессов для нахождения параметров твердооксидных ТЭ (ТОТЭ) и КЭУ на их базе. Имеющиеся отдельные программные продукты основаны на применении параметров ТЭ, которые берутся с вольт-амперных характеристик (ВАХ) конкретных ТОТЭ [3], закладываемых гипотетически на этапе проектирования и уточняемых экспериментальным путем.

Отсутствие модуля расчета параметров ТЭ, основанного на учете внутренних химических процессов без обращения к параметрам ВАХ ТЭ, делает затруднительным обес-

печение надежности узла после изготовления.

Применительно к ТОТЭ вычленена в качестве основной характеристики – электродвижущая сила ТЭ, на которой базируются остальные характеристики ТЭ при анализе работы КЭУ [1].

Универсальные принципы создания модели ТОТЭ базируются на фундаментальных законах электрохимии, сохранения вещества, энергии, импульса, а также на условиях, диктуемых программами управления и ограничениями проектных задач. Выполнение этих условий осуществляется унифицированным алгоритмом путем формирования системы невязок и обеспечения устойчивости вычислительного процесса.

Принципиальная основа составленной математической модели (ММ) функционального ТОТЭ - это расчет внутренних электрохимических реакций ТОТЭ, которые рассматриваются равновесными. С ее помощью появляется возможность синтезировать тепловую схему КЭУ, получить для расчетной работы наглядную топологическую модель с введенными пользователем информационными взаимосвязями и, используя методику расчета термодинамических свойств рабочего тела и соответствующих процессов, осуществить анализ экономической эффективности как ТОТЭ так КЭУ в целом.

Выполнено моделирование ЭХГ модуля ТОТЭ для макета ЭУ мощностью 1 кВт, созданной в РФЯЦ – ВНИИТФ. Результаты исследований показывают, что максимальное отклонение рассчитанных характеристик параметров ЭХГ в сравнении с данными РФЯЦ – ВНИИТФ не превышает 3,35 %. Таким образом, подтверждена адекватность описания рабочих процессов и применимость разработанной математической модели SOFC [5].

Рассмотрены пути повышения эффективности ГТЭ-10/95 при совместной работе с ТОТЭ в составе КЭУ. Предложены математические модели ГТЭ-10/95, автономной ЭУ на базе электрохимического генератора (ЭХГ) с ТОТЭ, а также трех исследуемых схем КЭУ с ЭХГ [6]:

- КЭУ с ЭХГ, работающая на отборе воздуха за КНД ГТЭ-10/95 (схема № 1);

- КЭУ с замененной камерой сгорания на ЭХГ в ГТЭ-10/95 (схема № 2);

- КЭУ на базе каскада НД ГТУ и ЭХГ из ТОТЭ (схема № 3)

для расчетов в программном комплексе DVIGwT, с включенным модулем ТОТЭ SOFC.

Автономная ЭУ с ЭХГ на базе ТОТЭ при электрической мощности в 11906,3 кВт имеет КПД по выработке электричества 24,88 %, при этом передается 7987,8 кВт теплоты потребителю.

Схема КЭУ на базе ГТЭ-10/95 и ЭХГ, работающего на отборе воздуха за КНД, характеризуется минимальной модернизацией исходной ГТЭ. Вырабатываемая электроэнергия и электрический КПД по выработке достаточно невысокие (22,75 % при электрической мощности 8543 кВт).

Схема с замененной камерой сгорания на ЭХГ в ГТЭ-10/95 требует значительных переделок, однако экономический эффект от такого вложения компенсируется повышением электрической суммарной мощности КЭУ до 20630,4 кВт (в 2,56 раза больше мощности базовой ГТЭ) и повышением КПД по выработке электроэнергии до 30,82 % (на 8,19 % абсолютных по отношению к базовой ГТЭ) [6].

Схема КЭУ на базе каскада НД ГТЭ-10/95 и ЭХГ на базе ТОТЭ, питающегося 3 атм. воздухом, требует также значительных переделок, при этом суммарная электрическая мощность достигает 14004,3 кВт (в 1,75 раза больше мощности базовой ГТЭ) и КПД по выработке электроэнергии достигает 27,75% (больше на 5,12 % абсолютных по отношению к базовой ГТЭ).

Приведен анализ результатов исследования рассматриваемых схем модернизации ГТЭ введением ЭХГ на дроссельных режимах работы всей КЭУ для базовой ГТЭ-10/95 и двух исследуемых схем параметры получены в диапазоне приведенных частот вращения ротора КНД, соответствующих мощности от 8 до 2 МВт, для третьей схемы от 1,2 МВт до 0,050 МВт.

### Библиографический список

1. Борисов, В.Н. Введение в термодинамику топливного элемента / В.Н. Борисов, И.Г. Лукашенко, М.А. Ахлюстин // Твердоокисленные топливные элементы: Сборник научно - технических статей. – Снежинск:

Издательство РФЯЦ – ВНИИТФ, 2003. С. 9 – С. 15.

2. Горюнов, И.М. Структурно-параметрический синтез и анализ ГТД и ЭУ / И.М. Горюнов // Вестник УГАТУ. – Уфа. УГАТУ, 2008. Т. 11 № 2 (29). – С. 30 – 38.

3. Захаренков, Е.А. Исследование и оптимизация схем и параметров гибридных электростанций на основе топливных элементов и газотурбинных установок / Е.А. Захаренков // Автореферат дисс. ... канд. техн. наук по специальности 05.14.01 – “Энергетические системы и комплексы”. – М.: МЭИ (ТУ), 2009. – 20 с.

4. Коровин, Н.В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки / Н.В.

Коровин. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 280 с.

5. Липилин, А.С. Состояние и будущее индивидуальной энергетики / А.С. Липилин // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» №9(77) 2009. - С. 139-152.

6. Лоскутников, А.А. Моделирование комбинированных энергоустановок на основе авиационного ГТД и топливных элементов в компьютерной среде / А.А. Лоскутников // Автореф. дисс. ... канд. техн. наук по специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов. Уфа: УГАТУ, 2010. – 16 с.

УДК 539

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЖАРОПРОЧНЫХ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНА В КОНСТРУКЦИЯХ ГТД.

Князев Е.В., Валеев М.Р.

Научно-производственное предприятие «Мотор», г. Уфа

### **THERE ARE SUBMITTED THE POSSIBILITIES OF HIGH TEMPERATURE TITANIUM-BASE INTERMETALLIC ALLOYS USAGE IN THE CONSTRUCTIONS OF AVIATION GAS TURBINE ENGINES**

*Knyazev E.V., Valeev M.R. There are submitted the possibilities of high temperature titanium-base intermetallic alloys usage in the constructions of aviation gas turbine engines.*

Современные авиационные газотурбинные двигатели (АГТД) характеризуются высоким уровнем требований к эксплуатационно-технологическим характеристикам. Масса АГТД является одним из наиболее значимых параметров, определяющих конкурентоспособность АГТД на рынке.

Наиболее эффективное средство снижения массы – применение в конструкции АГТД жаропрочных материалов с высокими характеристиками удельной прочности. Известно, что такими материалами в диапазоне температур 600-750 °С являются интерметаллидные титановые сплавы. Применение ин-

терметаллидных титановых сплавов в конструкции узлов АГТД позволяет сократить их массу на 25-30%. Кроме того, интерметаллидные титановые сплавы характеризуются пожаробезопасностью, что способствует повышению уровня надежности и боевой живучести АГТД.

В данной работе рассмотрены возможности применения жаропрочных интерметаллидных сплавов на основе титана в конструкции АГТД на примере перспективного ТРДД с большой степенью двухконтурности.