

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ МАЛОРАЗМЕРНОЙ ГАЗОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ МОЩНОСТЬЮ 75 КВТ ДЛЯ НУЖД РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Ястребов В.В., Коломзаров О.В., Зубрилин И.А.
Самарский университет, Самара, zubrilin416@mail.ru

Ключевые слова: камера сгорания, малоразмерный ГТД, энергетические установки, CFD, численное моделирование.

Одним из направлений развития распределённой энергетики является создание газотурбинных энергетических установок в диапазоне генерируемой мощности 50-200 кВт.

К разработке, проектированию и экспериментальным исследованиям нового поколения многотопливных микротурбинных систем прилагаются большие усилия в рамках международных проектов, несмотря на нарастающую тенденцию перехода к возобновляемым источникам энергии. Ожидается, что применение передовых технологий проектирования и производства позволит создавать микрогазотурбинные приводы для энергоустановок, которые будут более экологичными, энергоэффективными, надежными, долговечными, а также более экономически выгодными в эксплуатации по сравнению с представленными на рынке. Это обуславливает актуальность исследований в данном направлении. Тем более, что в условиях нарастающего спроса на малоразмерные газотурбинные двигатели в нашей стране наблюдается отставание в области таких разработок.

В последнее десятилетие данный класс энергетических установок приобрёл широкую популярность среди компаний нефтяной и газодобывающей промышленности и нашли своё применение в сельском хозяйстве.

Это обуславливается высокими показателями энергоэффективности и длительным ресурсом работы установок, а также возможностью работать на различных видах топлива, таких как: природный газ, СПГ, керосин, дизельное топливо, биотопливо и т.д.

В работе представлены этапы проектирования камеры сгорания для малоразмерной газотурбинной установки с рекуператором, мощностью 75 кВт.

В рамках данного проекта представлен обзор установок близких по мощности и компоновке, которые представлены на российском рынке. Было выявлено, что подавляющее большинство установок данного класса мощности на территории РФ представлено иностранными производителями [1].

На этапе проектирования КС для энергетической установки были рассчитаны основные геометрические размеры и интегральные параметры, а также проведено сравнение со статистическими зависимостями по КС данной размерности [2].

Наличие рекуператора в подобных установках обуславливает особенность работы камеры сгорания, которая заключается в относительно низкой степени подогрева рабочего тела в КС (1,3-1,4 против 1,8-2,0 для классических компоновок без рекуператора) и, следовательно, в высоком суммарном коэффициенте избытка воздуха $\alpha=8-10$. Также отмечена относительно высокая температура набегающего потока после рекуператора, порядка $T_k=800\text{K}$, что создаёт сложности при формировании системы охлаждения стенок жаровой трубы. При этом необходимо сформировать локальные зоны горения с благоприятными условиями, обеспечивающими долговечность и устойчивую работу установки. Эти условия эксплуатации отличаются от привычных параметров при проектировании авиационных двигателей и энергетических установок высокой мощности, что ограничивает опыт использования уже отработанных конструктивных решений для полноразмерных газогенераторов.

По результатам анализа конструкций прототипов в качестве базовой концепции была выбрана кольцевая камера сгорания с подготовкой топлива и организацией горения в четырёх форкамерах, установленных под углом к оси двигателя, что позволяет локализовать процесс горения и обеспечить наиболее благоприятные с точки зрения эффективности горения условия.

В качестве расчётной сеточной модели использовался 1/4 сектор с граничными периодическими условиями с количеством ячеек 13 млн ячеек с максимальным и средним размером элементов 5 и 0,27 мм соответственно. Максимальный параметр скошенности составил 0,8, а средний 0,084, количество элементов в пристеночном слое равно 3.

При расчёте в трёхмерной постановке были использованы следующие модели: модель турбулентности - Reynolds Stress Model; пристеночная функция - Scalable; модель горения - Partially Premixed Combustion; Flamelet, PDF; кинематический механизм – GRI 3.0; окислитель воздух - O₂= 21%, N₂=79%; T_к=807,2 °K; топливо - CH₄=100%; T_т= 293 °K.

Для характерных сечений были рассчитаны значения эффективных площадей для каждого участка, значения коэффициента избытка воздуха и параметры потока такие как температура, скорость и расход воздуха. После проведения предварительных расчётов было принято решение увеличить площадь отверстий охлаждения и проходного сечения форкамеры для достижения локализации горения в форкамере, уменьшения потерь давления и снижения максимальной неравномерности температурного поля. Показаны результаты численного моделирования и приведено сравнение полученных результатов с энергетическими установками, которые широко используются в промышленности.

Работа выполнена по проекту FSSS-2022-0019, реализуемого в рамках федерального проекта «Развитие человеческого капитала в интересах регионов, отраслей и сектора исследований и разработок», результат «Созданы новые лаборатории, в том числе под руководством молодых перспективных исследователей».

Список литературы

1. Викулов, О.В Газовые микротурбины как перспективный продукт конверсии военного двигателестроения [Текст] / О.В. Викулов, Ю.Л. Рыбаков / Инноватика и экспертиза – 2021 – Вып. 1 (31) – С 160-167

2. Ланский, А.М. Рабочий процесс камер сгорания малоразмерных ГТД [Текст] / А.М. Ланский, С.В. Лукачёв, С.Г. Матеев, О.В. Коломзаров, С.С. Матеев – Самара : Самарский университет, 2016. 259 с

Сведения об авторах

Зубрилин Иван Александрович, к.т.н., доцент, старший научный сотрудник. Область научных интересов: численное моделирование рабочих процессов горения.

Коломзаров Олег Владимирович, научный сотрудник, инженер. Область научных интересов: экспериментальное исследование и проектирование камер сгорания.

Ястребов Всеволод Владимирович, инженер. Область научных интересов: проектирование форсуночных устройств и камер сгорания малоразмерных ГТУ.

DESIGN OF A COMBUSTION CHAMBER FOR A SMALL-SIZED GAS TURBINE PLANT WITH A CAPACITY OF 75 KW FOR THE NEEDS OF THE DISTRIBUTED POWER INDUSTRY

Iastrebov V.V., Kolomzarov O.V., Zubrilin I.A.

Samara National Research University, Samara, Russia, zubrilin416@mail.ru

Keywords: combustion chamber, small-sized GTE, power plants, CFD, numerical simulation.

The paper presents the stages of the design of a combustion engine for a MGTU with a recuperator with a capacity of 75 kW. A review of installations close in power and layout is presented.

The basic geometric dimensions and parameters have been calculated and compared with other combustion chambers according to statistical dependences.

A ring combustion chamber with combustion organization in four prechambers has been chosen. Numerical simulation of combustion processes was carried out.