

НАПРАВЛЕНИЕ «ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ЭКОЛОГИЯ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ» / «COMBUSTION PROCESSES AND HEAT ENGINES ECOLOGY»

УДК 519.6+533

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ЖАРОВОЙ ТРУБЫ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ЭМИССИИ NO_x

Митрофанова Ю.А.¹, Казимарданов М.Г.¹

¹АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, YuAMitrofanova@yandex.ru

Ключевые слова: расчётная оптимизация, RANS, EDM/FRC, снижение выбросов оксидов азота.

Одной из самых приоритетных задач двигателестроения является снижение эмиссии оксида азота (NO_x) в процессе работы камеры сгорания (КС) газотурбинного двигателя [1]. Одним из путей решения этой задачи считается изменение рабочего процесса в КС, за счёт расчётной оптимизации её конструкции.

Активное развитие методов численного моделирования и рост вычислительных мощностей позволяет предварительно смоделировать рабочий процесс, изучить его особенности и сформировать на основе расчётных данных подходы к оптимизации конструкции.

На сегодняшний день не существует универсальной математической модели, адекватно и с приемлемой точностью, описывающей все процессы, проходящие в КС. Для решения задач необходимо настраивать математическую модель по экспериментально полученным результатам. Поэтому первым этапом работы является настройка выбранной математической модели [2].

Настройка модели проводилась на основании результатов испытаний двух вариантов геометрии жаровых труб (ЖТ) (свечная и несвечная) и на трёх режимах работы газотурбинной установки (ГТУ).

Для описания течения многокомпонентного, однофазного реагирующего потока была принята система осреднённых по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса, замкнутая k-ε моделью турбулентности [2, 3]. Для моделирования процесса горения использовалась EDM/FRC модель с единым значением коэффициента A в выражении для определения скорости химических реакций окисления метана, образования NO_x и CO, который был настроен по результатам расчетов на режимах испытаний, как и турбулентные числа Шмидта (Sc_T) и Прандтля (Pr_T).

Минимизируемой функцией являлось суммарное отклонение значений эмиссии NO_x, полученных в расчёте от замеренных экспериментально:

$$F_m = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 (NOx_{ij}^{exp} - NOx_{ij}^{num}(A, Sc_T, Pr_T))^2,$$

где $i=1$ вариант со свечной трубой, $i=2$ вариант с несвечной трубой, j — номер режима.

Коэффициенты A, Sc_T и Pr_T изменялись в диапазонах: A = 3..15, Sc_T = 0.1..0.9 и Pr_T = 0.1..0.9. В процессе настройки математической модели рассмотрено более 70 вариантов сочетаний этих коэффициентов, в результате выбраны значения, обеспечивающие минимальное значение функции F_m.

Вторым этапом работы являлась расчётная оптимизация конструкции ЖТ с точки зрения снижения эмиссии NO_x за счёт изменения размеров, количества и местоположения основных отверстий и отверстий системы охлаждения с сохранением их суммарной площади.

Свечная и несвечная ЖТ оптимизировались независимо друг от друга. Для свечной ЖТ было просчитано 14 конструктивных вариантов, наилучший вариант показал снижение эмиссии на 17,14%. Для несвечной ЖТ было просчитано 16 конструктивных вариантов, наилучший вариант показал снижение эмиссии на 21,19%.

После доводки были проведены дополнительные расчёты, представляющие собой обмен наилучшими вариантами геометрий между вариантами жаровых труб, для получения

одинаковой схемы расположения основных отверстий. В связи с тем, что суммарная площадь основных отверстий отличалась, диаметры при расчёте были пропорционально изменены.

В результате работы были определены варианты конструкции свечной и несвечной ЖТ, обеспечивающие снижение эмиссии NO_x на 17,14% и 42,37 %, соответственно. Дополнительно для обеих модифицированных ЖТ получено расчётное снижение максимальной величины средней неравномерности поля температуры на 4,7 % по сравнению с исходной конструкцией ЖТ.

Список литературы

1 Иноземцев А.А. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Т.2. Компрессоры. Камеры сгорания. Форсажные камеры. Турбины. Выходные устройства. / А.А. Иноземцев, М.А. Нихамкин, В.Л. Сандрацкий. Москва: Машиностроение, 2008. 367с.

2 Митрофанова Ю.А., Загитов Р.А., Трусков П.В. Настройка математической модели для описания горения газообразного топлива с учётом уточнения геометрии расчётной области. – Текст // Вычислительная механика сплошных сред. 2020. Т. 13, №1. С. 60-72.

3 Молчанов А.М. Математическое моделирование гиперзвуковых гомогенных и гетерогенных неравновесных течений при наличии сложного радиационно-конвективного теплообмена. – М.: Изд-во МАИ, 2017. – 160 с.

Сведения об авторах

Митрофанова Юлия Александровна, инженер-конструктор-расчётчик, отдел расчётных работ по камерам сгорания. Область научных интересов: моделирование рабочего процесса в камере сгорания газотурбинных двигателей.

Казимарданов Максим Георгиевич, инженер-конструктор-расчётчик, отдел расчётных работ по камерам сгорания. Область научных интересов: моделирование рабочего процесса в камере сгорания газотурбинных двигателей.

OPTIMIZATION OF A GAS TURBINE ENGINE COMBUSTION CHAMBER FLAME TUBE DESIGN TO REDUCE NO_x EMISSIONS.

Mitrofanova Y.A.¹, Kazimardanov M.G.¹

¹ JSC «UEC-Aviadvigatel», Perm, Russia, YuAMitrofanova@yandex.ru

Keywords: computational optimization, RANS, EDM\FRC, reduction of NO_x .

One of the highest priority tasks of the engine industry is to reduce the nitrogen oxide emission generated during process of the combustion chamber of a gas turbine engine [1]. A promising way to solve this problem is to change the during process in the combustion chamber by means of computational optimization of its design.

As a result of the research, the design options of both flame tubes, which provide a reduction of NO_x emissions by 17.14% and 42.37%, respectively, were identified.