

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГАСИТЕЛЯ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСНОГО ТИПА ДЛЯ КАМЕР СГОРАНИЯ ГТД НА ОСНОВЕ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКИХ АНАЛОГИЙ

Радин Д.В., Макарьянц Г.М., Зубрилин И.А.
Самарский университет, Самара, radin.danila.v@gmail.com

Ключевые слова: камера сгорания, пульсации давления, гаситель пульсаций, резонатор Гельмгольца.

Одним из ключевых направлений по улучшению экологических и экономических характеристик современных газотурбинных двигателей является разработка малоэмиссионных камер сгорания, реализующих концепцию сжигания бедной гомогенной смеси. Важной проблемой при создании таких камер сгорания газотурбинных двигателей является неустойчивость их работы и возникновение пульсаций давления, которые приводят к усталостным механическим повреждениям элементов камер сгорания, деформации её конструкции, разрушению жаровой трубы и газовой эрозии лопаток турбины вследствие повышенной вибрационной нагрузки. Одним из наиболее эффективных способов пассивного управления динамическими процессами и уменьшению амплитуды пульсаций давления в камере сгорания является применение в конструкции гасителей пульсаций типа резонатор Гельмгольца. Однако резонаторы обладают высокой эффективностью только в узком диапазоне частот, поэтому точное определение их динамических характеристик на этапе проектирования является ключевой задачей.

Резонатор Гельмгольца представляет собой полость объёмом V_p , сообщающуюся с камерой сгорания с помощью горла – канала длиной l_g и диаметром d_g . Камеру сгорания газотурбинного двигателя представим в виде источника колебаний с внутренним импедансом $Z_{и}$ и нагрузки с импедансом $Z_{н}$. Расчётная схема камеры сгорания, имеющей в своём составе гаситель пульсаций резонансного типа, представлена на рис. 1.

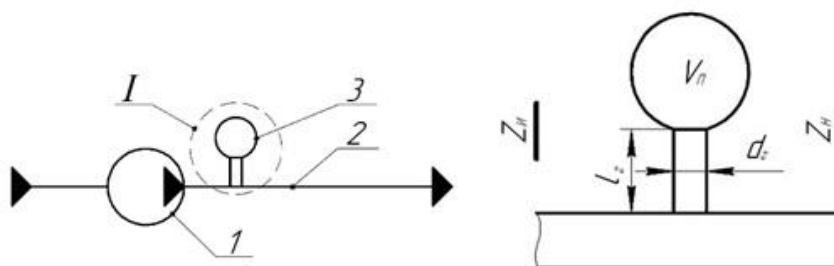


Рис. 1 – Расчётная схема камеры сгорания ГТД, имеющей в своём составе гаситель пульсаций:
1 – источник пульсаций давления, 2 – присоединённая система, 3 – резонатор Гельмгольца

Процесс проектирования резонатора состоит из нескольких этапов [1]:

1. Определение частоты и моды подавляемых пульсаций.
2. Определение местоположения резонатора в камере сгорания. Осевое положение определяется положением фронта пламени. Радиальное расположение определяется таким образом, чтобы резонатор не попал в узловые точки колебаний жаровой трубы.
3. Определение геометрических параметров резонатора. Первым шагом при определении геометрических параметров является выбор объёма полости резонатора. Оптимальный объём резонатора составляет приблизительно 7% от объёма камеры сгорания [2]. Для обеспечения передачи акустической энергии между камерой сгорания и резонатором площадь горла должна составлять значительную долю от площади поперечного сечения камеры сгорания. В работе [1] площадь горла составляет 10% от площади поперечного сечения камеры сгорания.

4. Расчёт динамических характеристик резонатора и оценка его эффективности в составе камеры сгорания.

Эффективность действия гасителя пульсаций резонансного типа оценивается коэффициентом вносимого затухания $K_{\text{вн}}$, представляющим отношение амплитуды пульсаций давления в цепи без резонатора к амплитуде пульсаций в цепи с резонатором [3]. В данной работе рассматривается влияние установки резонатора только на первую гармонику пульсаций.

Граничные импедансные условия (внутренний импеданса источника колебаний и входной импеданс присоединённой системы) задаются либо по экспериментальным данным, либо по данным, полученным численными методами [4].

Стоит отдельно отметить, что при наличии в составе камеры сгорания нескольких резонаторов, необходимо учитывать взаимное влияние их динамических характеристик.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке АО «ОДК» (Договор № ОДК/2019/11/2020/643).

Список литературы

1 Lieuwen T.C. Combustion Instabilities in Gas Turbine Engines: Operational Experience, Fundamental Mechanisms, and Modeling [Text] / T.C. Lieuwen, V. Yang // Progress in Astronautics and Aeronautics, 2005. Vol. 210. 480 p.

2 Combustion System Damping Augmentation with Helmholtz Resonators [Text] / D.L. Gysling, G.S. Copeland, G.S. McCormick, W.M. Proscia // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. 2000. Vol. 122 (2). P.269-274.

3 Шорин, В.П. Устранение колебаний в авиационных трубопроводах [Текст] / В.П. Шорин. М.: Машиностроение, 1980. 156 с.

4 Численное моделирование отражения акустической волны от вращающегося лопаточного венца [Текст] / Н.В. Шуваев, А.А. Синер, Н.Н. Большагин, Р.Н. Колегов // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2018. – № 52. – С. 5-15.

Сведения об авторах

Радин Данила Валерьевич, аспирант кафедры АСЭУ, Самарский университет. Область научных интересов: устранение колебаний в агрегатах и узлах авиационной и ракетно-космической техники.

Макарьянц Георгий Михайлович, д-р техн. наук, профессор кафедры АСЭУ, Самарский университет. Область научных интересов: устранение колебаний в агрегатах и узлах авиационной и ракетно-космической техники.

Зубрилин Иван Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры ТиТД, Самарский университет. Область научных интересов: математическое моделирование процессов горения.

DEVELOPMENT OF DESIGN METHODOLOGY OF RESONANT-TYPE PULSATION DAMPER FOR GAS-TURBINE COMBUSTOR BASED ON DYNAMIC ANALOGY METHOD

Radin D.V., Makaryants G.M., Zubrilin I.A.

Samara National Research University, Samara, Russia, radin.danila.v@gmail.com

Keywords: combustion chamber, pressure pulsations, pulsation damper, Helmholtz resonator.

In this work the analysis of theoretical and experimental studies in the field of research of resonant-type pulsation dampers for combustion chambers of gas turbine engines was carried out. On the basis of the refined physics mathematical models of the dynamic characteristics of the cavity and the neck of the Helmholtz resonator were developed, on the basis of which a mathematical model of the dynamic characteristics of the combustion chamber, including a pulsation damper, was developed.