

Анализируя результаты, можно отметить, что величина рассеивания оказывает существенное влияние на точность соединения.

Библиографический список

1. Shapiro L.G., Stockman G. C. Computer Vision. - Prentence Hall, 2001. P. 137, 150.

2. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. 2-е изд. - М.: 1962.

3. Дёмин Ф.И., Проничев Н.Д., Шитарев И.Л. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей. / под. общ. ред. проф. Ф.И. Демина. – 2-е изд. – Самара: Изд-во СГАУ, 2012.

УДК 621.45.022:535.3

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ПОТОКА ГАЗА НА ВЫХОДЕ ИЗ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ТЕМПЕРАТУРЫ, ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ЛАЗЕРНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ СКОРОСТИ

©2016 А.А. Диденко, В.Ю. Абрашкин, А.Б. Соколов, И.В. Чечет, С.Ю. Мишенков,
А.В. Ахтерьяков

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

ANALYSIS OF UNSTEADY FLOW IN THE GTE COMBUSTION CHAMBER OUTLET BY MEASURING TEMPERATURE, CHEMICAL COMPOSITION AND LASER SPEED MEASUREMENT

Didenko A.A., Abrashkin V.Y., Sokolov A.B., Chechet I.V., Mishenkov S.Y., Ahteryakov A.V.
(Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

Has been achieved a detailed study of fields in the gas flow rate using a three-component laser dopler anemometer 3D-LDA LAD-056S and the characteristics of the composition and temperature of the gas at the outlet of the GTE tubular combustion chamber. Fields of gas temperature are measured by point thermocouple. Sampling to determine the chemical composition has been carried out by a single point and integrated sampler. The measurements have been carried out in the SSAU scientific and educational center of the gas dynamic research.

В рамках НИР по договору с ФГАО-УВО «СПБПУ» (г. Санкт-Петербург, 2015 г.) выполнено детальное исследование полей скорости в потоке газа с помощью трёхкомпонентного лазерного доплеровского анемометра 3D-LDA ЛАД-056С (ОАО «ИОИТ», г. Новосибирск) и характеристик по составу и температуре газа на выходе из одногорелочной трубчатой камеры сгорания (КС) авиационного газотурбинного двигателя (ГТД). Поля температур газа измерены одноточечной хромель-алюмелевой термопарой. Отбор проб для определения химического состава осуществлялся с помощью одноточечного пробоотборника, а также с помощью восьмиточечного интегрального пробоотборника. Измерения выполнялись в научно-образовательном центре газодинамических исследований СГАУ (ныне Самарский университет) сотрудниками лаборатории лазерной диагностики структуры потока (ЛЛДСП) и лаборатории исследования моделей КС на экспериментальном стенде для испытаний

КС при давлении в камере, близком к атмосферному.

Испытанная одногорелочная трубчатая КС оснащена двухканальной пневмомеханической форсункой для распыливания жидкого топлива (керосина). Воздух к рабочему участку стенда подавался с помощью высокопроизводительного вентилятора, из которого он направлялся в электрический подогреватель, далее воздух проходил мерный участок и попадал в камеру сгорания. Из КС воздух (газ) удалялся через выхлопную магистраль в глушитель стенда. Высокопроизводительный вентилятор обеспечивал перед КС давление воздуха $p_k^* \approx (1,05...1,25) \cdot p_H$; электрический подогреватель создавал подогрев воздуха на 50...200 °С в зависимости от его расхода через КС. На выходе из конического газосборника жаровой трубы к корпусу КС крепилась короткая стальная проставка с каналом квадратного поперечного сечения соосно с осью жаровой трубы. На боковой поверхности проставки имеются два

оптически прозрачных окна с кварцевыми стёклами для прохода лучей лазерного измерителя. Для засева потока трассерными частицами, необходимыми для обеспечения LDA-измерений, на крепёжной плите форсунки рядом с каналом подачи топлива размещена трубка-инжектор для ввода в основной поток воздуха, поступающего в КС, вспомогательного потока воздуха с мелкими трассерными частицами. В качестве трассерных частиц использовались твёрдые алюмосиликатные микрочастицы (на основе Al_2O_3). Для их вдува в поток использовались специальные генераторы частиц фирмы Dantec Dynamics.

Перед началом испытаний КС измерялись расходная характеристика форсунки по топливу $G_T(\Delta p_T)$ и расходная характеристика КС по воздуху $G_B(\lambda_K, T_K^*)$. В ходе каждого эксперимента измерялись и контролировались режимные параметры на входе в КС. По значениям массовых расходов воздуха и топлива, G_B и G_T , вычислялся коэффициент избытка воздуха α_K в камере сгорания. По предварительно снятым настроечным характеристикам камера сгорания выводилась на нужный режим работы с требуемыми α_K , T_K^* и λ_K . Измерения скорости, температуры и химического состава газа на выходе из КС производились в поперечном сечении газового потока на удалении $\Delta X = 20$ мм от среза газосборника жаровой трубы для двух значений приведённой скорости воздуха перед камерой сгорания $\lambda_K = 0,2$ и $0,25$, и на каждом из них – для двух вариантов начальной температуры воздуха t_K^* : – без подогрева воздуха – температура на входе в диффузор КС $t_K^* = 60$ °С; при этом температура обеспечивается за счёт естественного подогрева воздуха в высоконапорном вентиляторе ($T_K^* = 333,15$ К); – и с предварительным подогревом воздуха в электрическом подогревателе, при этом $t_K^* = 150$ °С ($T_K^* = 423,15$ К).

Измерение скорости газа с помощью 3D-LDA ЛАД-056С производилось в 255 точках, расположенных с шагом 10 мм по координатным осям Y и Z. Поля скорости строились с помощью метода сплайн-аппроксимации данных. Также строились

поля распределения температуры газа. Определялись и совместно анализировались параметры неравномерности полей скорости и температуры газа.

Температура газа T_G^* измерялась с помощью ХА-термопары в 105 точках в сечении на выходе из КС. По этим данным строилась гистограмма распределения температуры по площади выходного сечения. Затем из гистограммы выбирались такие 16 точек в плоскости поперечного сечения потока, чтобы они в статистическом смысле равноценно представляли «среднемассовые» \bar{T}_G^* и неравномерность $\Delta \bar{T}_G$, как и все 105 точек в сумме. В этих же самых 16 точках производился отбор проб из потока газа для определения химического состава продуктов сгорания.

Предпринята попытка осуществить совместный анализ характеристик по составу продуктов сгорания и температуре газа. При этом рассматривалась взаимосвязь локальных значений (в выбранных 16 точках поля) измеренных массовых концентраций химических компонентов Y_i с локальными значениями измеренных температур T_{Gi}^* (в этих же 16 точках). По измеренным в 16 точках поперечного сечения концентрациям химических компонентов Y_i подсчитывались восстановленные концентрации общих количеств воздуха и топлива, общий коэффициент избытка воздуха, коэффициент полноты сгорания топлива. По данным химического анализа определялась температура газ $T_{Г.ХАi}$, которая сопоставлялась с измеренной T_{Gi}^* . В совместном анализе перечисленных характеристик оценена достоверность и точность измерения Y_i и T_{Gi}^* .

Дополнительно для анализа подсчитывались восстановленные концентрации количеств воздуха и топлива, непосредственно участвовавших в горении, соответствующие им местные (локальные) коэффициенты избытка воздуха и полноты сгорания топлива.

Исследования проведены на оборудовании ЦКП САМ-технологий (RFMEFI59314 X0003). Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках реализации программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020».