

## Состояние и перспективы развития высокотемпературных зондов пульсаций давления газа

Быстров Н.Д.<sup>1</sup>, Гимадиев М.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Самарский университет, г. Самара, Российская Федерация; bystrof-nd@ya.ru,

<sup>2</sup>Научно-производственное предприятие «Гималаи», Самара, Российская Федерация; gma@gimalai.com

*Ключевые слова:* газотурбинный двигатель, пульсации давления, датчик, акустический зонд, коррекция, частотные характеристики.

При доводке и эксплуатации ГТД важно иметь достоверную информацию о возникающих в них динамических процессах. Одним из основных параметров, несущих информацию о рабочих процессах в двигателях, является давление, на долю которого приходится 25...30 % от объёма всех измеряемых параметров. Для получения достоверной информации о пульсационном состоянии узлов ГТД необходимо, чтобы динамическая погрешность измерения пульсаций давления не превышала 5...10 % в частотном диапазоне 5...5000 Гц. Ряд фирм поставляют высокотемпературные датчики пульсаций давления до температуры 700 °С, но часто температура газа в объектах контроля превышает допустимые для датчиков величины, а их чувствительность иногда недостаточна для регистрации слабых пульсаций давления [1]. Поэтому применяют акустический зонд (АЗ), состоящий из волновода, датчика и корректирующего элемента (КЭ), исключающего возникновение резонансных колебаний в волноводе. С совершенствованием двигателей с учётом пульсаций давления в последние годы возросла актуальность применения зондов [2-6].

Достаточно подробно представлены исследования АЗ с КЭ в отечественных и зарубежных источниках [1-5]. Из анализа указанных и других литературных источников следует, что более полно удовлетворяет предъявляемым к АЗ требованиям зонд с КЭ в виде отрезка трубки с диаметром проходного сечения, равным диаметру волновода [4,5]. При измерении пульсаций в условиях высоких температур происходит частичное усиление амплитуд из-за неравномерного распределения температуры газа по длине волновода. Эту проблему в работе [4] предложено решать продувкой газа с небольшим расходом от КЭ через волновод в объект контроля. Наличие КЭ в виде длинной линии в свою очередь приводит к искажению измеряемых пульсаций давления в области малых частот 1-50 Гц из-за резонансов уже по всей длине АЗ. Другой задачей, возникающей при создании АЗ, является их динамическая калибровка в условиях высоких температур перед установкой на двигатель. Для калибровки АЗ применяются установки, разработанные в ЦИАМ, Самарском университете, однако только для невысоких температур и средних давлений газа. Решение указанных задач предложено авторами в работах [6,7] путём разработки АЗ с RC-фильтром на конце длинной линии (рис.1) и высокотемпературного высокоамплитудного генератора пульсаций давления (рис. 2).

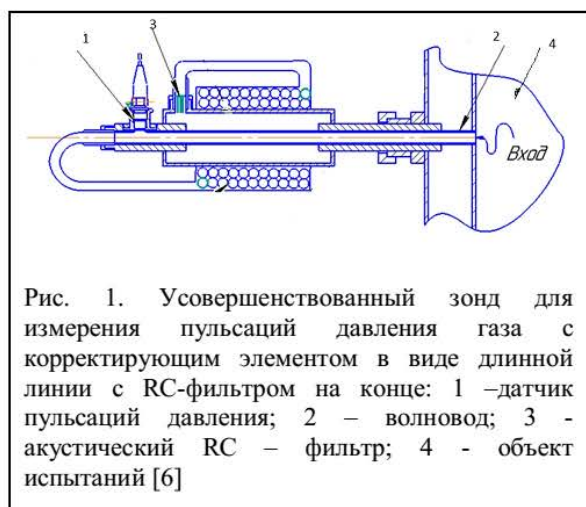


Рис. 1. Усовершенствованный зонд для измерения пульсаций давления газа с корректирующим элементом в виде длинной линии с RC-фильтром на конце: 1 – датчик пульсаций давления; 2 – волновод; 3 – акустический RC – фильтр; 4 – объект испытаний [6]

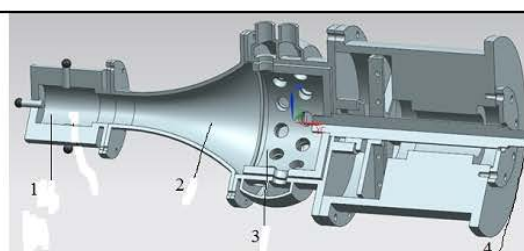


Рис.2 Принципиальная схема высокотемпературного высокоамплитудного генератора пульсаций давления: 1 – высокотемпературная камера с АЗ и контрольным датчиком с охлаждением; 2 – экспоненциальный насадок – усилитель колебаний; 3 – роторный клапан; 4 – электрический привод [7]

В представленном на рис. 1 зонде устранение низкочастотных резонансных колебаний осуществляется подбором сопротивления дросселя RC – фильтра, равным волновому сопротивлению

**PID 103**

длинной линии КЭ. При этом отсутствуют отражённые волны, и исключается возникновение резонансных колебаний.

Принцип действия высокотемпературного генератора колебаний давления (см. рис.2) основан на прерывании потока воздуха, подаваемого от источника с высоким давлением и направляемого через рупорообразный насадок в камеру с высокой температурой. В процессе калибровки измеряются колебания давления в камере зондом и контрольным датчиком пульсаций давления с охлаждением, обработкой их показаний строится амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) АЗ, используемая в дальнейшем при расшифровке экспериментальных данных, измеренных зондом при испытании ГТД.

Немаловажную роль в перспективных работах принадлежит созданию программных продуктов для расчета АЧХ зонда с учетом реальных изменений температур по длине волновода, свойств рабочих сред для выбора параметров и расчета характеристик зонда на этапе его проектирования.

Таким образом, совершенствование средств измерения пульсаций давления, в частности АЗ в высокотемпературных условиях, создание программных средств для выбора параметров и расчета АЧХ зонда, разработка высокотемпературных датчиков пульсаций давления и генераторов с реализацией колебаний давления газа при средних давлениях, температурах, диапазонах частот, характерных для современных ГТД и других энергетических установок, является перспективной и актуальной задачей.

## Список источников

1. Шорин, В.П. Акустические методы и средства измерения пульсаций давления / В.П. Шорин, Е.В. Шахматов, А.Г. Гимадиев, Н.Д. Быстров // Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. - 132 с.
2. Asgat Gimadiev, Nikolas Bystrov, Dmitry Stadnik, Alexander Igolkin Gimadiev A., Marat Gimadiev Correcting frequency characteristics of pressure pulsations probes (review). 24th International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2017 London, 23-27 July.
3. Фурлетов В.И., Дубовицкий А.Н., Ханян Г.С. Определение частотной характеристики измерительной системы «датчик колебаний давления-волновод» при повышенных параметрах газа // Развитие средств и методов испытаний авиационных двигателей (Сборник статей). Колл. Авторы. М.: ЦИАМ, 2010. 252 с.
4. Zinn H., Noiray N., Schuermans B., Pahari D., Rajkovic D. Prob for measuring pressure oscillations in the combustor of a gas turbine. United States Patent No.: US 2015/0268121 A1.
5. On the Development of a Compact Acoustic Probe for Pressure Oscillation Measurements in Gas Turbine Engine // Vladimir Shorin, Asgat Gimadiev, Nikolas Bystrov Procedia Engineering 106 ( 2015 ) 46 – 52.
6. Гимадиев, А.Г. Устройство для измерения пульсаций давления газа. / А.Г.Гимадиев, Е.С.Дягилева, С.А. Касьянов, Н.Д. Быстров // Патент на полезную модель РФ № 184246 получен 26.10.2018.
7. Гимадиев, А.Г. Высокотемпературный высокоскоростной ротационный клапан / А.Г.Гимадиев, Е.С.Дягилева, С.А. Касьянов, Н.Д. Быстров // Патент на полезную модель РФ №184037 получен 22.10.2018.

## Current state and development trends of high-temperature gas pressure pulsation probes

Bystrov N.D.<sup>1</sup>, Gimadiev M.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Samara University, Samara; bystrof-nd@ya.ru

<sup>2</sup>Research and Production Enterprise «Gimalai» Ltd., Samara, Russian Federation;  
gma@gimalai.com

Gas pressure pulsations are one of the main parameters taken into account during gas turbine engines development to improve fuel efficiency and low emissions, to avoid vibration combustion in the combustion chambers and to provide gas-dynamic stability of the compressor. Therefore, the accuracy of measuring pressure pulsations is very important. Because of the gas high temperature and space limitations the pressure sensors often cannot be installed at the measurement point directly. The problem can be solved by a probe consisting of a waveguide, a pressure pulsation sensor and an acoustic correction element for resonances eliminating in the waveguide. With continuing increase of turbine gas temperature, pressure pulsation sensors are also improved - their operating temperature range raised, that allows creating probes for almost all requirements of engine final adjustment. The text analyses the design and effectiveness of modern probes, proposes arrangements that may improve their performance.

*Keywords: gas turbine engine, pressure pulsations, sensor, acoustic probe, correction, frequency characteristics*