

УДК 621.534

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТИЧЕСКИХ ЗОНДОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ В ГАЗОГЕНЕРАТОРЕ

© 2012 В. П. Шорин¹, А. Г. Гимадиев¹, Н. Д. Быстров¹,
С. А. Ильинский², Т. Г. Александрова²

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

² Открытое акционерное общество «КУЗНЕЦОВ», г. Самара

Приведены результаты разработки и экспериментальных исследований акустических зондов с корректирующими элементами в виде длинного трубопровода и последовательного соединения резинового патрубка и металлической трубки. В результате проведённых испытаний получены частотные характеристики акустических зондов в диапазоне частот до 800 Гц при давлении воздуха до 8,0 кгс/см². Даны рекомендации по применению исследованных акустических зондов для измерения пульсаций давления в проточном тракте газогенератора.

Газогенератор, пульсации давления, измерение, акустический зонд, волноводный канал, корректирующий элемент, разработка, стендовое оборудование, испытание, обработка, анализ результатов, рекомендации.

Важной проблемой при оценке эффективности и надёжности газогенератора является измерение динамических процессов, протекающих по газодинамическому тракту газогенератора в условиях повышенных температур и вибраций. Особый интерес представляют пульсации давления газа на входе в вентилятор, на выходе из компрессора высокого давления и за сопловым аппаратом турбины. Ввиду невозможности установки датчиков пульсаций давления в точках измерений применяют подводящие каналы в составе акустических зондов с пьезокерамическими датчиками пульсаций давления, обладающими широким диапазоном частот измерения по сравнению с индуктивными датчиками пульсаций давления типа ДМИ.

Для измерения пульсаций давления в диапазоне частот до 800 Гц разработан единый акустический зонд с возможностью установки во всех трёх сечениях газогенератора. В зонде использован датчик пульсаций давления PS-2001 разработки ООО «Глобалтест». Датчик помещён в охлаждаемый проточным воздухом контейнер. Датчик акустически подключается к волноводному каналу, сообщаемому с точкой измерения пульсаций давления на объекте контроля. Для устранения резонансных явлений, приводящих к существенным динамическим искажениям, предусмотрена акустическая нагрузка, подключаемая к корпусу зонда (рис. 1).

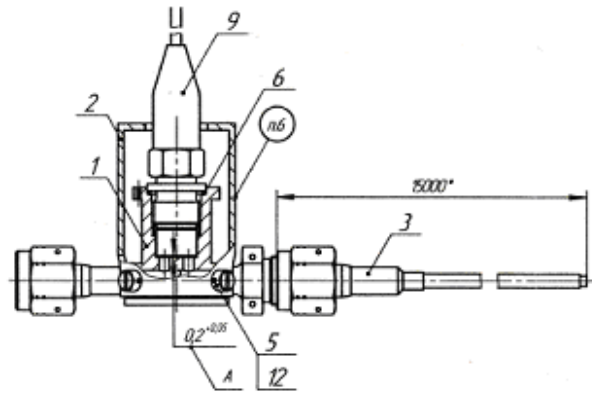


Рис. 1. Сборочный чертеж зонда пульсаций давления

Конструктивная реализация зонда для измерения пульсаций давления за компрессором высокого давления в газогенераторе представлена на рис. 2.

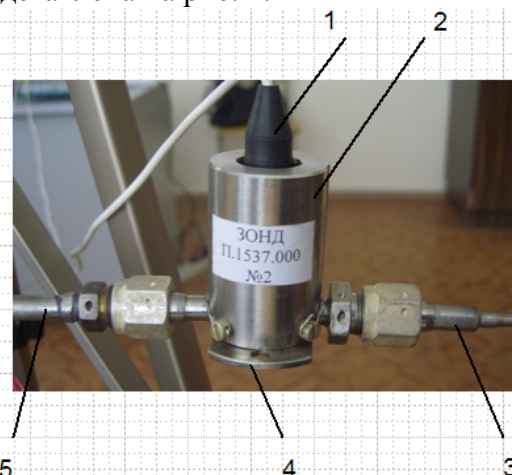


Рис. 2. Внешний вид акустического зонда: 1- датчик пульсаций давления; 2 – кожух охлаждения датчика; 3 - акустическая нагрузка в виде трубопровода, заглушенного на выходе; 4 – корпус зонда; 5 – подводящий канал

Проведены расчёты частотных характеристик зонда с использованием пакета программ ZOND и выбраны параметры акустического корректирующего элемента.

Для проведения частотных испытаний акустических зондов использовалось стендовое оборудование СГАУ. Основным узлом

стенда для частотных испытаний пневматических измерительных средств является генератор колебания давления или пульсатор (рис. 3).

Основные характеристики генератора колебаний давления представлены в табл. 1.

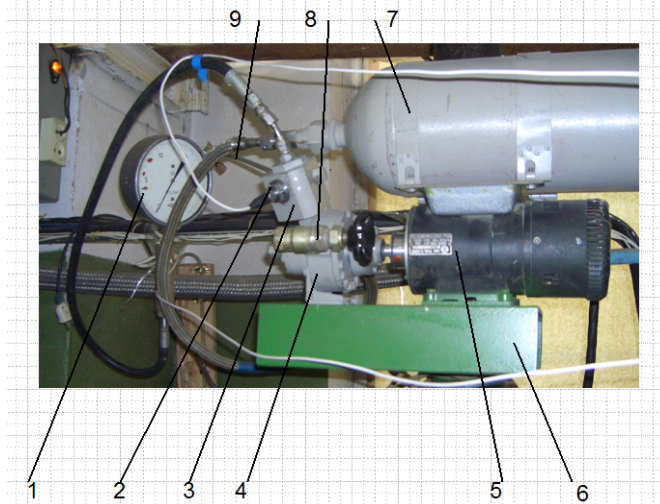


Рис. 3. Общий вид пульсатора с испытательной камерой, датчиком, акустическим зондом с датчиком пульсаций давления PS 2001: 1 -манометр 0-2,5 МПа; 2- датчик быстропеременных давлений; 3-испытательная камера пульсатора; 4- пульсатор; 5-электропривод МА-500; 6-монтажная плата; 7- буферная ёмкость; 8- вентиль; 9- подводящий патрубок акустического зонда

Таблица 1. Технические данные генератора колебаний давления

№ п/п	Параметры	Значения
1	Среднее давление воздуха, кгс/см ²	до 10,0
2	Диапазон частот генерируемых колебаний, Гц	до 1000 Гц
3	Диапазон амплитуд пульсаций давления, кгс/см ²	0,001...0,02
4	Потребляемая электрическая мощность, кВт	0,5
5	Габариты, ВхШхД	0,2x0,3 x0,7

Перед проведением испытаний осуществлялась опрессовка и настройка измерительных каналов с датчиками давления PS-2001. На работающем экспериментальном оборудовании проводились испытания зондов П-1537.000 №1, П-1537.000 №2 при средних давлениях 4, 6, 8, 10 кгс/см² и амплитудах колебаний давления до 0,02 кгс/см² в диапазонах частот 5...800 Гц.

Во время испытаний сигналы с зонда и контрольного датчика, размещённого в пульсаторе, передавались в аппаратуру МІС-026 и записывались в её память для хранения и последующей обработки. Для обработки информации с целью построения частотных характеристик зондов использовался программное обеспечение МІС-026.

Методика обработки экспериментальных данных зондов основана на сравнении зарегистрированных показаний датчика зонда и контрольного датчика, установленного в рабочей камере пульсатора. Сигналы с датчика пульсаций давления акустического зонда и контрольного датчика поступали на вход платы МІС-201 измерительно-вычислительного комплекса МІС-026 и с помощью программы Recorder записывались на жёсткий диск компьютера.

Запись сигналов осуществлялась в формате записи данных МЕРА, который является расширением формата УСМЛ (расширение «*.usm»). При этом программа создаёт четыре файла с разными расширениями, определяющими тип данных. В файле с расширением «*.mega» находится информация

об испытании и список параметров, в файле с расширением «*.dat» содержатся введённые двоичные данные параметра, в файле с расширением «*.txo» содержатся коэффициенты полинома либо узлы интерполяции, в файле с расширением «*.gcfg» хранится конфигурация регистратора.

Диапазон входного сигнала во всех экспериментах устанавливался равным $\pm 0,2$ В.

Экспериментальные данные записывались с частотой опроса, позволяющей достоверно расшифровать пульсации давления в диапазоне частот до 5 кГц. Запись осциллограмм осуществлялась в течение 60 секунд с частотой опроса 57,6 кГц на первый и второй каналы ИВК МІС-026 соответственно контрольного датчика и зонда.

Перед проведением эксперимента осуществлялась настройка измерительных каналов, вводились паспортные данные калибровки датчиков динамического давления PS 2001 (файлы с расширением «*.txo»).

Для обработки осциллограмм использовалась программа WinPos НПО «Мера». Для получения АЧХ осуществлялся расчёт отношения амплитуды выходного (с датчика зонда) и входного (с контрольного датчика) сигналов в диапазоне частот от 0 до 1 кГц.

Процедура обработки следующая: вызывается программа WinPos, открывается окно программы. Загружается файл с записями колебаний давления датчика зонда и контрольного датчика. При открытии файла строятся два графика осциллограмм в одних и тех же осях координат. Затем производится расчёт частотных характеристик, для чего запускается опция «Передаточная функция», по которой рассчитывается АЧХ или модуль частотной функции зонда.

На рис. 4 и 5 представлены теоретические и экспериментальные амплитудно-частотные характеристики зонда, предназначенного для измерения пульсаций давления на выходе из компрессора газогенератора.

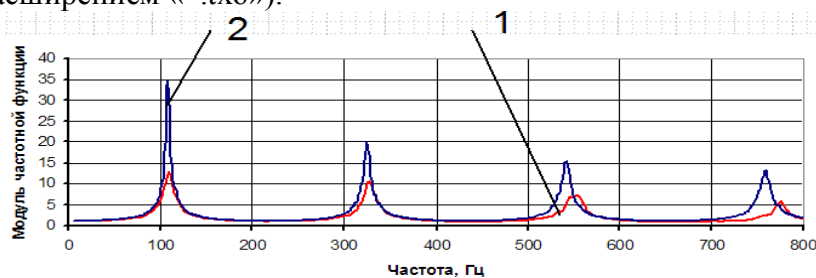


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика зонда с волноводом Дуб длиной 0,79 м с объёмом полости датчика 100 мм³ без корректирующего элемента при давлении 8 кгс/см² : 1-эксперимент, 2- расчет

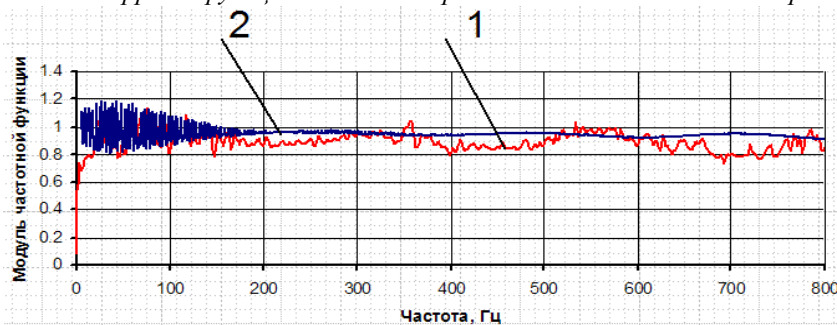


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика зонда с волноводом Дуб длиной 0,79 м с объёмом полости датчика 100 мм³ и корректирующим элементом при давлении 8 кгс/см² : 1-эксперимент, 2- расчет

Для удобства подключения к соответствующим измерительным точкам на газогенераторе в условиях испытательного стенда были проведены испытания зондов с согласующей линией, представляющей набор из гибкого резинового шланга определённой длины и медной 40-метровой линии.

В результате проведённых испытаний получены частотные характеристики акусти-

ческих зондов с элементами коррекции в виде последовательно соединённых резинового шланга и металлической трубки при давлении воздуха до 8,0 кгс/см².

На рис. 6 и 7 представлены частотные характеристики зондов с комбинированными согласующими линиями.

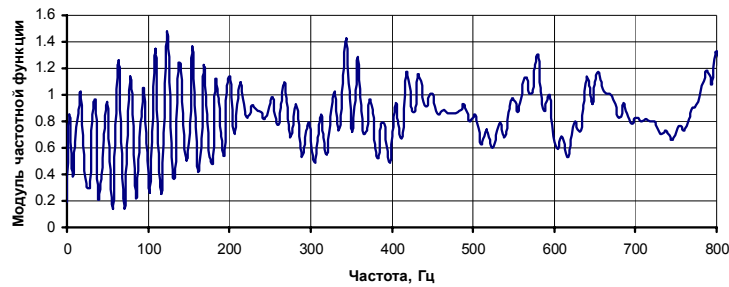


Рис. 6. Амплитудно-частотная характеристика акустического зонда №2 с параметрами: среднее давление 8 кгс/см², волновод D_{у6} длиной 0,79 м, приведённый объём полости датчика давления 100 мм³, корректирующий элемент в виде последовательно соединённых гибких шлангов D_{у6} с длинами 1,8 м и 10 м



Рис. 7. Амплитудно-частотная характеристика акустического зонда №2 с параметрами: волновод D_{у6} длиной 0,79 м, приведённый объём полости датчика давления 100 мм³, корректирующий элемент в виде последовательно соединённых гибкого шланга D_{у6} длиной 1,8 м и металлической трубки D_{у6} длиной 40 м при различных средних давлениях

Таким образом, на основании проведённых теоретических и экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы и рекомендации по применению акустических зондов для измерения пульсаций давления в проточном тракте газогенератора.

1. Экспериментальные данные адекватно отражают математическую модель зондов, причём численно – для зондов с корректирующим элементом и качественно – для зондов без корректирующего элемента.

2. Амплитудно-частотная характеристика акустического зонда слабо зависит от уровня среднего давления при давлениях свыше 4 кгс/см². Чем больше среднее давление, тем меньше динамическая погрешность акустического зонда.

3. Для экспериментальных исследований пульсаций давления в газогенераторе рекомендуется применять зонды с волноводом и корректирующим элементом в виде трубки Ду-6 длиной 40 м, при которых погрешность измерения пульсаций давления не превышает (10...15)% в диапазоне частот (5...800) Гц.

4. Для экспериментальных исследований частотных характеристик зондов в большем диапазоне частот (до 2000 Гц и более) необходимо усовершенствовать конструкцию пульсатора и его привода, а также рассмотреть возможность использования струйно-акустических методов возбуждения колебаний давления.

5. Необходимо рассмотреть возможность разработки зондов с другим датчиком пульсаций давления, обладающим меньшими габаритами и большей чувствительностью.

6. Для случая измерения пульсаций давления в газогенераторе в узком диапазоне изменения среднего давления (в пределах отклонения $\pm 15\%$) необходимо рассмотреть возможность применения зондов с компактными корректирующими элементами в виде байпасного, относительно датчика, акустического RC-фильтра.

7. Из анализа результатов проведённых экспериментальных исследований акустических зондов П-1537.000 №1 и №2 с волноводом D_{у6} длиной 0,79 м и корректирующим элементом в виде последовательно соединённых гибкого шланга D_{у6} длиной 1,8 м и

медной трубки длиной 40 м следует, что применение гибкого шланга в составе корректирующего элемента зонда, во-первых, облегчает монтаж и эксплуатацию зонда на газогенераторе, во-вторых, позволяет применять в качестве корректирующей трубки имеющиеся на стенде свободные линии подвода давления от газогенератора до измерительного щитка.

8. Амплитудно-частотные характеристики акустических зондов №1 и №2, отличающихся мероприятиями по снижению приведенного объёма полости датчика в пределах 100 мм^3 , одинаковы, то есть можно оставить вариант с более технологичным исполнением.

Библиографический список

1. Акустические методы и средства измерения пульсаций давления / В.П. Шорин, Е.В. Шахматов, А.Г. Гимадиев [и др.]. - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 132 с.

2. Каталог продукции и измерительных средств. – Саров: ООО «ГлобалТест», 2011. - 58 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки) на основании постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010 г.

ON THE DEVELOPMENT OF PROBES FOR MEASURING PRESSURE PULSATIONS IN THE GAS-DYNAMIC CHANNEL GAS GENERATOR

© 2012 V. P. Shorin¹, A. G. Gimadiyev¹, N. D. Bystrov¹, S. A. Ilyinsky², T. G. Alexandrova²

¹Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)
²OS "KUZNETSOV", Samara

The results of development and experimental studies of acoustic probes with corrective elements in the form of a long line and a serial connection of rubber tube and a metal tube. As a result of the tests obtained the frequency characteristics of acoustic probes in the frequency range of 800 Hz at an air pressure of up to 8.0 kg/cm². Ana's recommendations for the use of the investigated acoustic probes for measuring pressure fluctuations in the flow path of gas generator.

Gas generators, acoustic probes, pressure pulsations, sensors, waveguide channel, dynamic error, correcting elements, stand equipment, registration and measurement system, testing, test analysis.

Информация об авторах

Шорин Владимир Павлович, академик РАН, доктор технических наук, профессор кафедры автоматических систем энергетических установок, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: iam@ssau.ru. Область научных интересов: разработка конструктивных методов управления динамическими свойствами гидрогазовых систем.

Гимадиев Асгат Гатятович, доктор технических наук, профессор кафедры автоматических систем энергетических установок, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: gimadiyev_ag@mail.ru. Область научных интересов: динамика систем управления и контроля параметров технологических и энергетических установок.

Быстров Николай Дмитриевич, доктор технических наук, профессор кафедры автоматических систем энергетических установок, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский универси-

тет). E-mail: iam@ssau.ru. Область научных интересов: коррекция динамических характеристик систем измерения давления при испытаниях ГТД.

Ильинский Станислав Алексеевич, начальник отдела Открытого акционерного общества «КУЗНЕЦОВ», г. Самара. Область научных интересов: коррекция динамических характеристик систем измерения давления при испытаниях ГТД.

Александрова Татьяна Геннадьевна, ведущий инженер Открытого акционерного общества «КУЗНЕЦОВ», г. Самара. Область научных интересов: измерение и обработка параметров динамических процессов при испытаниях ГТД.

Shorin Vladimir Pavlovich, academician, doctor of technical sciences, the professor of faculty ASEU of Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: iam@ssau.ru. Area of research: development construction management dynamic properties of the of hydro and gas systems.

Gimadiev Asgat Gatjatovich, the professor of faculty ASEU of Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: iam@ssau.ru. Area of research: correction of dynamic characteristics of systems of measurement of pressure at tests GTD.

Bystrov Nikolay Dmitrievich, the professor of faculty ASEU of Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: iam@ssau.ru. Area of research: correction of dynamic characteristics of systems of measurement of pressure at tests GTD.

Ilinsky Stanislav Alekseevich, Head of Department of OS «KUZNETSOV», Samara. E-mail: sntk@sntk.saminfo.ru. Area of research: correction of dynamic characteristics of systems of measurement of pressure at tests GTD.

Alexandrova Tatyina Gennadjevna, Leading Engineer of OS «KUZNETSOV», Samara. E-mail: sntk@sntk.saminfo.ru. Area of research: correction of dynamic characteristics of systems of measurement of pressure at tests GTD.