

## О МЕТОДЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЕ ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

Гимадиев А.Г., Быстров Н.Д., Ильинский С.А., Ильясова Н.Ю., Устинов А.В.  
Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара,  
ОАО СНТК им. академика Н.Д. Кузнецова, г. Самара,  
Самарский филиал ИСОИ РАН, г. Самара

Создание газотурбинных двигателей сопровождается интенсивными измерениями пульсирующих давлений рабочей среды вдоль всего газоздушного тракта. Экстремальность условий измерений, невозможность непосредственной установки первичных преобразователей давления в точках измерения требуют использования акустических зондов, которые можно рассматривать в общем случае как пневматические цепи передачи информации. Пневматические цепи в силу наличия подводящих коммуникационных каналов не обладают равномерной частотной характеристикой. В ряде случаев для проверки достоверности расчетных частотных характеристик пневматических цепей необходимо оценивать экспериментально их частотные характеристики.

Для этих целей в СГАУ в течение последних трех лет применяется пневматический стенд пульсирующих давлений, созданный на базе стационарной компрессорной станции университета.

Ключевыми моментами в процедуре экспериментального определения частотных характеристик следует считать метод непрерывной записи сигналов в процессе изменения частоты вращения ротора пульсатора от нуля до предельной частоты вращения и применение специально разработанной для этого метода программы POVS 21, позволяющей автоматизировать трудоемкий процесс обработки записей колебаний.

Программа POVS 21 написана на алгоритмическом языке C++ Builder. В программу включены алгоритмы и программы предварительной обработки сигналов, прямого и обратного преобразования Фурье.

Программный набор POVS 21 содержит 13 файлов: исполняемый файл ПОВС1.EXE и 12 файлов изображений: \_\_PIC\_T1\_.bmp; \_\_PIC\_T2\_.bmp; \_\_PIC\_T3\_.bmp; \_\_PIC\_T4\_.bmp; \_\_PIC1a\_.bmp; \_\_PIC1b\_.bmp; \_\_PIC2\_.bmp; \_\_PIC3\_.bmp; \_\_PIC4\_.bmp; \_\_PIC5\_.bmp; \_\_PIC6\_.bmp; \_\_PIC0\_2.bmp.

Общий объем программы с изображениями – 7 МБайт, в том числе 2,5 МБайт – исполняемый модуль.

Для установки программы на компьютере необходимо скопировать архивы в выбранную директорию и распаковать программой WINRAR.exe.

Для работы программы компьютер должен удовлетворять следующим условиям:

- процессор – Pentium;
- наличие операционной системы Windows 98 или выше;
- оперативная память не ниже 32 Мбайт;
- разрешение экрана не ниже 1024x768 точек (обязательное условие!) при 256 или более цветах;
- дисковая память (если упомянутые выше 8 файлов уже размещены на жёстком диске, то дополнительная память не требуется, если только пользователь не будет сохранять результаты в файлах).

Основные функциональные возможности программы POVS 21:

- Обеспечение расчета амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик пневматической цепи (акустического зонда), включающего подводящий канал, датчик давления и корректирующий элемент. Подводящий канал: однородный; неоднородный по площади и температуре. Корректирующий элемент с сосредоточенными и распределенными параметрами.
- Предварительная обработка сигналов: удаление выбросов; устранение тренда; цифровая фильтрация (усредняющий и ранговый фильтры, полосовые фильтры низких и высоких частот).
- Статистическая обработка сигналов: определение математического ожидания; дисперсии, наибольшего и наименьшего значений сигнала.
- Спектральный анализ с применением прямоугольного и сглаживающих окон Хэмминга и др., определение амплитудного спектра; спектра мощности; спектральной плотности мощности и энергии.
- Восстановление спектральных характеристик и временных реализаций пульсаций давления, измеренных пневматической цепью (акустическими зондами) по их расчетным или экспериментально определенным частотным характеристикам.
- Определение амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик пневматической цепи по временным реализациям сигналов на входе и выходе.

В последней версии программы реализован алгоритм, позволяющий определять по цифровым осциллограммам временных реализаций случайных процессов частотные характеристики (ЧХ) акустических зондов. Для получения ЧХ осуществляется определение спектральной плотности входного сигнала, взаимной спектральной плотности входного и выходного сигналов, после чего в соответствии с

соотношениями для расчета частотных характеристик физических систем, приведенными в работах [1-3], осуществляется расчет АЧХ и ФЧХ пневматических цепей (акустических зондов) с шагом 0.02 Гц в диапазоне частот 0-10000 Гц.

Результаты обработки сигналов приводятся в окне программы на соответствующих графиках, а также в текстовом формате могут быть при необходимости записаны на жестком диске компьютера и востребованы при необходимости позднее.

Процедура использования указанных возможностей программы проиллюстрирована ниже при обработке осциллограмм в файле BND\_14\_1.dat. и BND\_14\_1.par.

Вначале вызывается программа POVS-21 (рис. 1), открывается окно открытия файлов с цифровыми осциллограммами временных реализаций случайных процессов, имеющее вид, представленный на рис. 2. В указанном окне осуществляется вызов файла с записанными с колебаниями давления в пульсаторе (в рассматриваемом случае 15 канал). Чтобы подготовить загрузку информации из файла, необходимо ввести данные статической калибровки измерительного канала (в рассматриваемом случае по датчику давления ДД-10-61 № 4АС1467, см. рис. 3). После первой осциллограммы, аналогичным образом в том же окне программы под №2 вводится осциллограмма с записью колебаний, измеренных акустическим зондом (в рассматриваемом случае 14 канал). Для ввода сигналов со входа и выхода акустического зонда используется окно программы, изображенное на рис. 4.

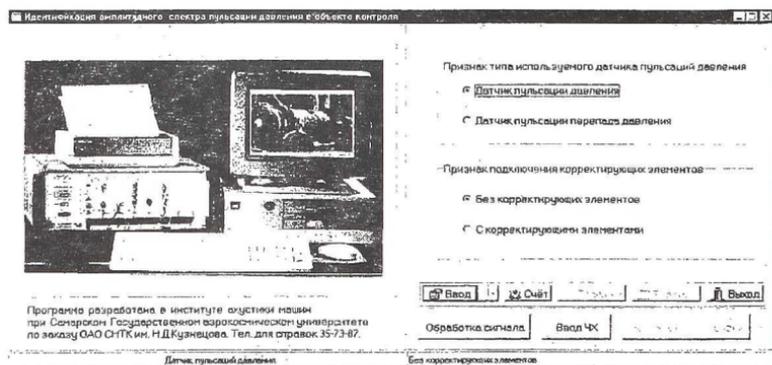


Рис.1. Окно программы POVS 21

Выполнив загрузку осциллограмм, переходим к расчету частотных характеристик, для чего запускается опция <<Передаточная функция>> После этого открывается новое окно, предназначенное непосредственно для расчета АЧХ и ФЧХ (рис. 5). Далее запускается опция <<Вычислить

ПФ>>. По истечении времени, необходимого для осуществления расчета, в формах для графиков АЧХ и ФЧХ будут представлены экспериментальные зависимости. Для получения АЧХ и ФЧХ в частотном диапазоне работы пульсатора 0-650 Гц необходимо выделить соответствующие частоты, а также выбрать наилучший масштаб по оси ординат (рис. 5).

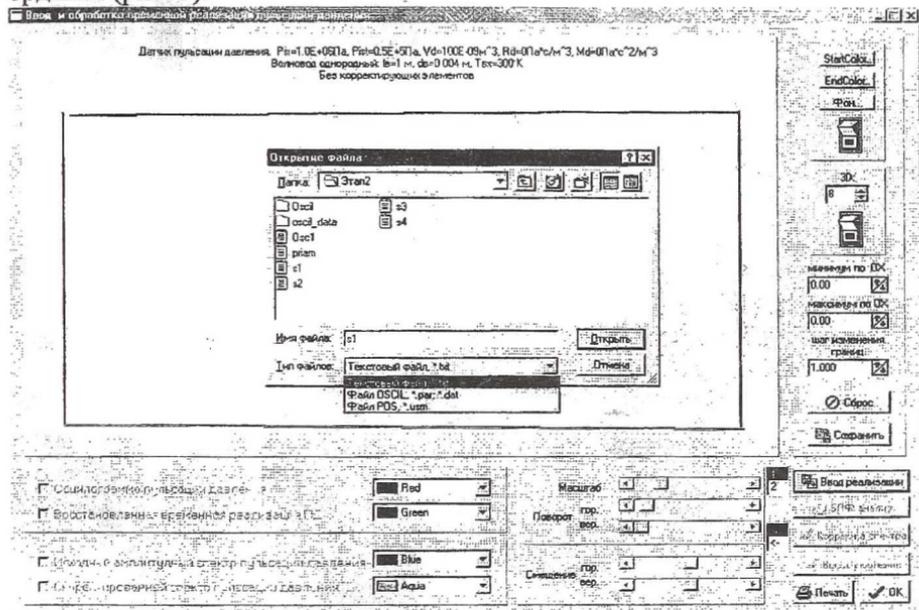


Рис. 2. Форма обработки временной реализации пульсации давления (окно открытия файла, содержащего исходную реализацию)

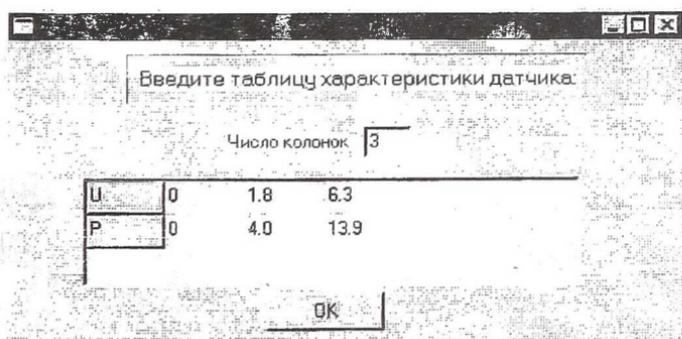


Рис. 3. Форма ввода калибровочной характеристики датчика, установленного в пульсаторе



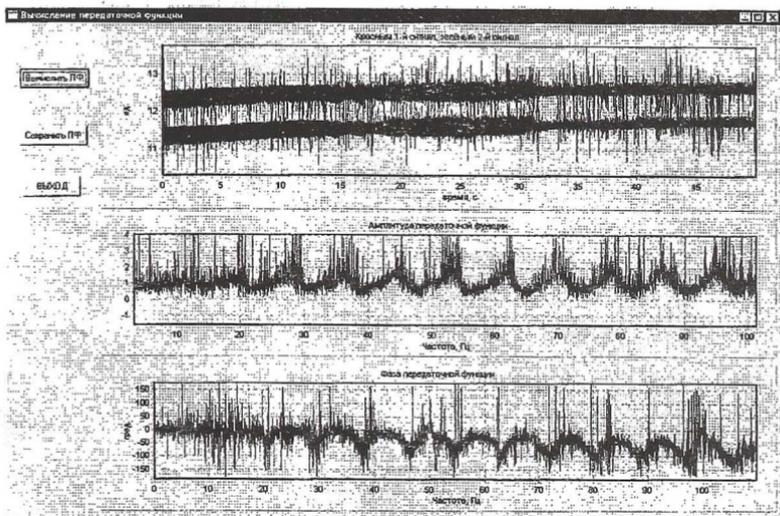


Рис. 6. Амплитудно-частотная характеристика акустического зонда в диапазоне частот 0...100 Гц (Окно программы POVS 21)

Возможности программы POVS 21 по определению спектров сигналов проиллюстрированы на рис. 7.

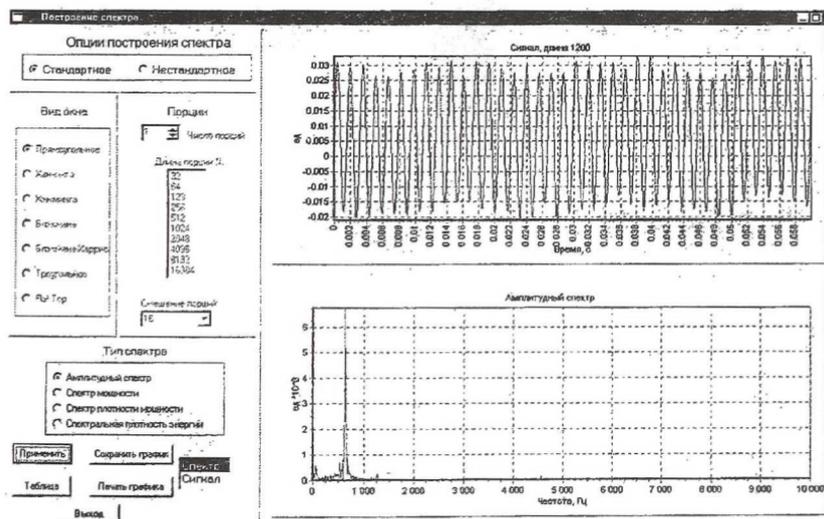


Рис. 7. Форма сигнала в рабочей полости пульсатора (вверху) и амплитудный спектр сигнала при основной частоте 635 Гц (внизу) при среднем давлении воздуха - 10 кгс/см<sup>2</sup>

Для получения более гладких кривых предложено использовать программу GRAPF DIGITIZER (рис. 8), позволяющую получать по изображениям экспериментальных АЧХ и ФЧХ осредненные значения. Результаты такого осреднения представлены на рис. 9.

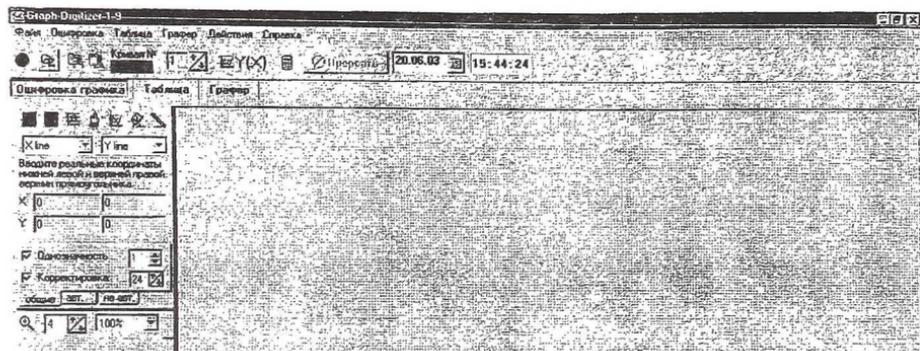


Рис. 8. Окно программы GRAPF DIGITIZER

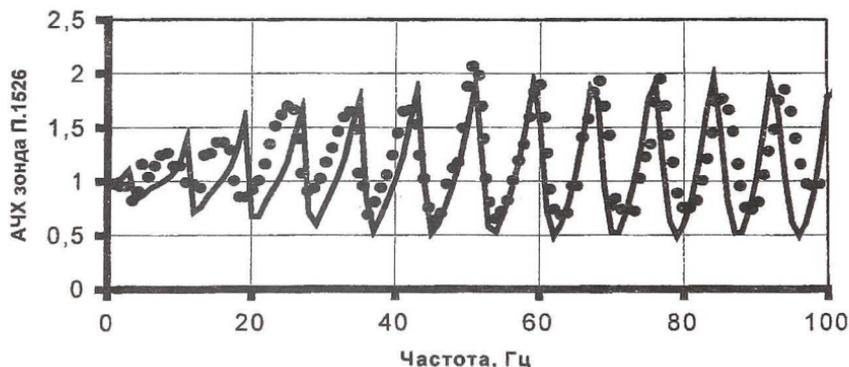


Рис. 9. Амплитудно-частотная характеристика акустического зонда в диапазоне частот 0...100 Гц:

расчет с шагом 1 Гц по программе POV5-21 (непрерывная линия);

эксперимент (Файл BND 14-1) (точки)

$P = 13,5 \text{ кгс/см}^2$ ,  $T = 295 \text{ К}$ ,  $L_{\text{подв. канал}} = 730 \text{ мм}$ ,  $d_{\text{подв. канал}} = 6 \text{ мм}$ ,  
 $L_{\text{согл. нагр.}} = 20 \text{ м}$ ,  $d_{\text{согл. нагр.}} = 6 \text{ мм}$ ,  $V_{\text{пол. датч.}} = 50 \text{ мм}^3$

#### Список литературы

1. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. - М.: Мир, 1974. 520с.
2. Бендат Д., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: пер. с англ.-М.: Мир, 1989.540 с.
3. Рандалл Р.Б. Частотный анализ. Печать: К. Ларсен и сын АО, ДК - 2600. Глоструп, Дания,1989. 389 с