

# Разработка экспериментального стенда

для исследования системы гашения шумов устройств принудительного  
воздушного охлаждения высокопроизводительных компьютерных  
комплексов

Студент: Сафиуллин Р.Р.

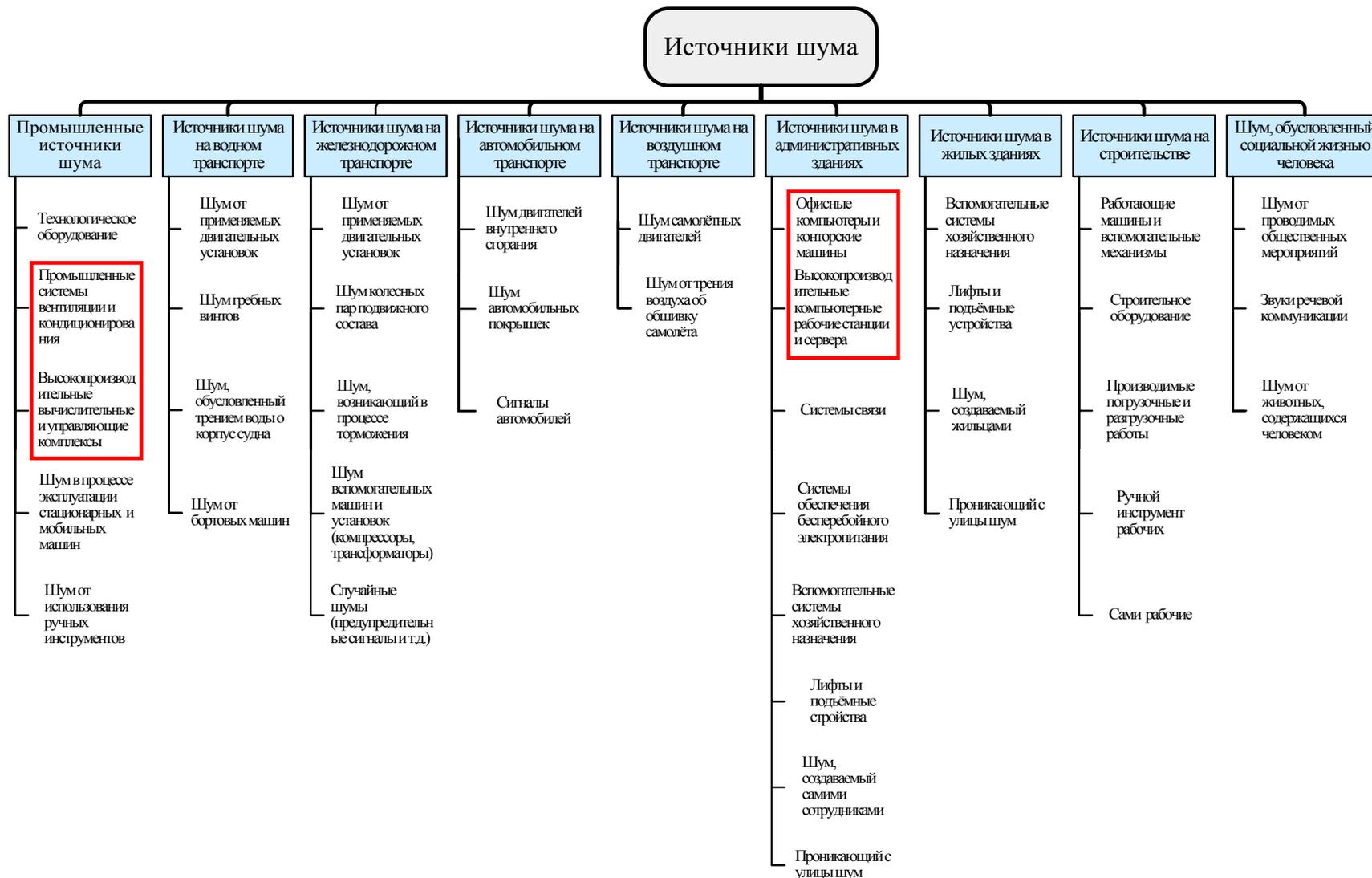
Руководитель: Власов А.И.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Создание экспериментальной установки, позволяющей эффективно бороться с шумом устройств воздушного охлаждения высокопроизводительных компьютерных комплексов

## РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ:

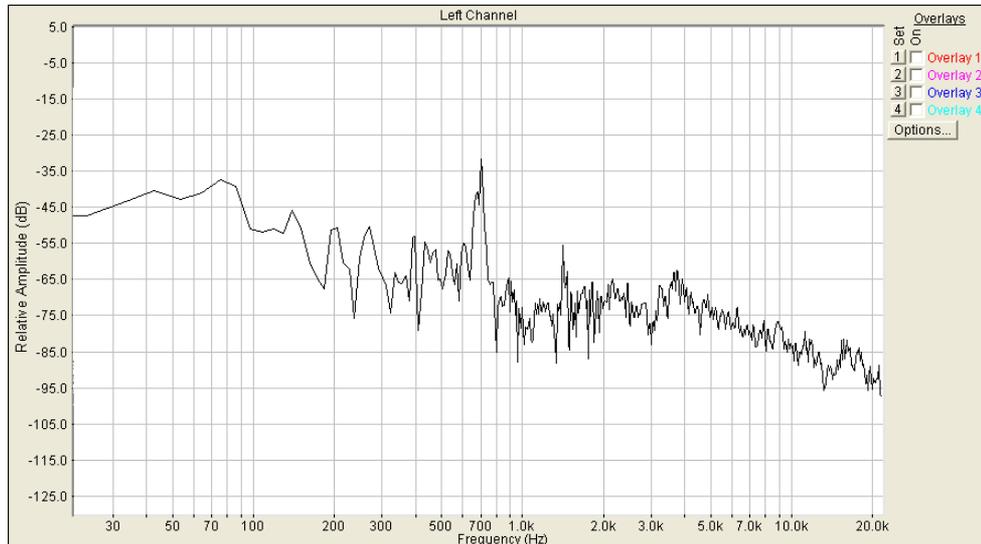
- Выявление основных источников шума в ЭВА
- Анализ физических принципов распространения акустических волн
- Разработка структурной схемы системы активного гашения шума
- Изготовление прототипа экспериментальной установки
- Реализация блока управления установкой на основе ЦСП ADSP-21061
- Оценка эффективности работы спроектированной САГ



**Примечание:** Согласно ГОСТ 12.1.003-83 (Шум. Общие требования по безопасности) уровень шума на рабочих местах (преподавание, научная деятельность, программирование и т.д.) должен находиться в пределах 40-60 дБА

## Постановка задачи

### Шумовые характеристики центробежного вентилятора Thermalteake Volcano II.



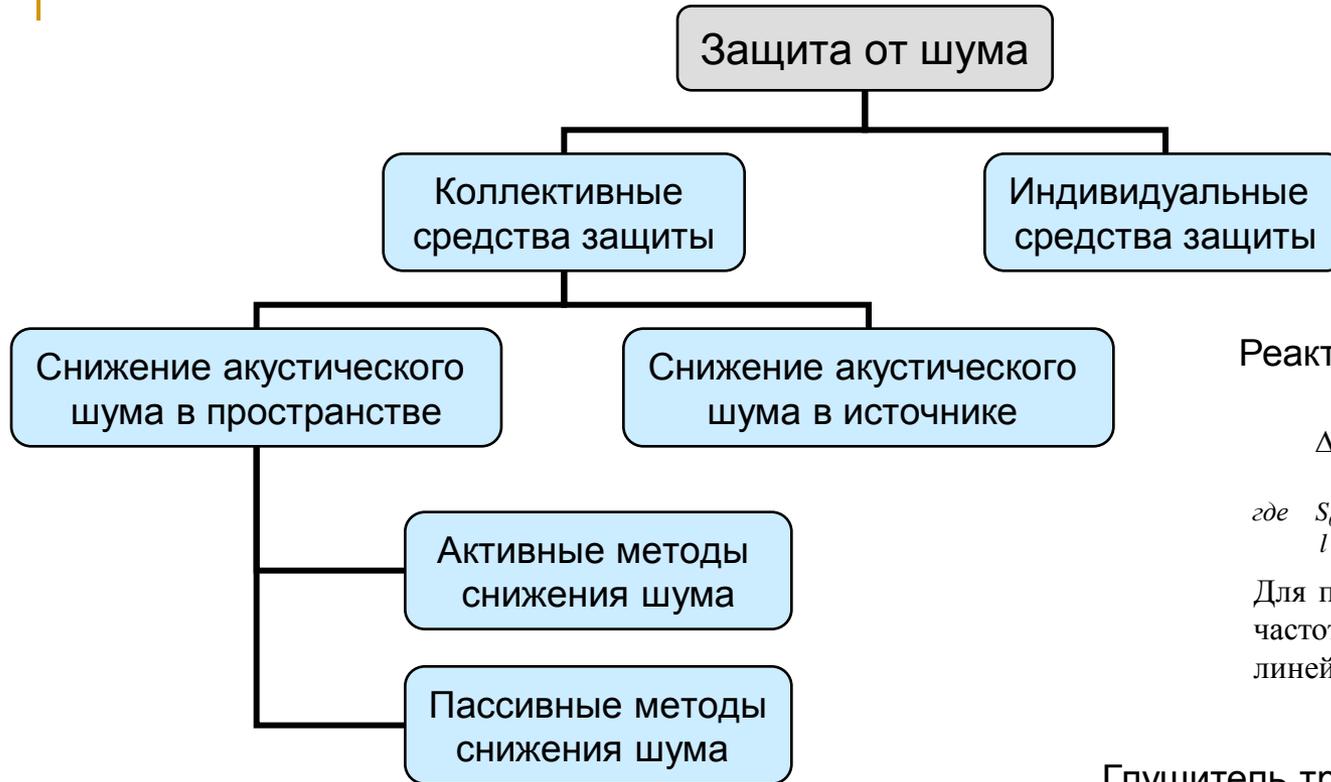
### Технические характеристики

- размеры: 60x60x25 мм;
- напряжение питания 12 В;
- частота вращения 4500 об/мин;
- давление воздушного потока 5.3 мм. водяного столба.

### Требования к системе гашения

1. Работа в диапазоне частот 20 Гц – 800 Гц
2. Обеспечение эффективности гашения в указанном диапазоне не менее 20 дБ
3. Возможность перенастройки при работе с различными источниками шума
4. Возможность интеграции в существующие конструктивные модули

**Вывод:** Основная энергия шумового излучения заключена в диапазоне частот от 25 Гц до 800 Гц



## Реактивный камерный глушитель

$$\Delta L_{\text{э}} = 10 \cdot \lg \left( 1 + 0,25 \left[ \frac{2\pi m_p f c}{l} \right]^2 \right)$$

где  $S_0$  – площадь проходного сечения воздуховода  
 $l$  – длина камеры

Для подавления акустических шумов на частоте 200 Гц на 20 дБ требуется линейный размер глушителя более 4 м

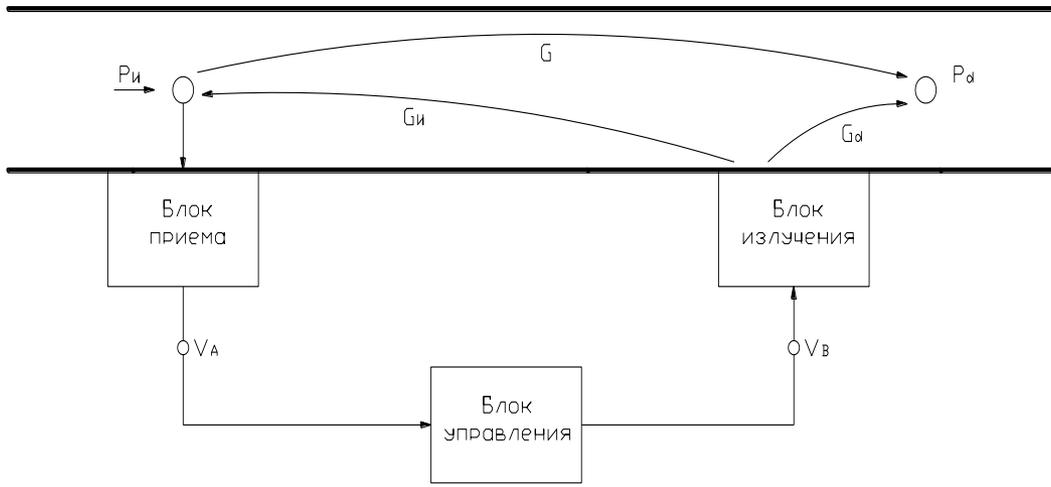
## Глушитель трубчатого типа

$$\Delta L = \frac{l}{D} (1 + 3 \lg(n_k))$$

где  $l$  – длина глушителя

Для снижения низкочастотного шума на 10...20 дБ в полосе 60-100 Гц в воздуховоде диаметром 10-20 см толщина звукопоглощающего материала должна составлять 50-100 см

**Вывод:** Для достижения необходимого уровня снижения шума с помощью пассивных методов потребуется устройство слишком большого размера.



$$\begin{aligned} V_A &= P_i H_m^+ + V_B H_S^- G_H H_m^-; \\ V_B &= V_A H_C; \\ P_d &= P_i G + V_B H_S^+ G_d, \end{aligned}$$

Оптимальная передаточная функция блока управления, обеспечивающая полное гашение звука ( $P_d=0$ )

$$H_{Copt} = \frac{-G}{(H_m^+ H_S^+ G_d - H_m^- H_S^- G_H G)}$$

## Условные обозначения

$P_i$  — преобразование Лапласа звукового давления исходной звуковой волны на входе системы

$P_d$  — преобразование Лапласа результирующего звукового давления на выходе системы;

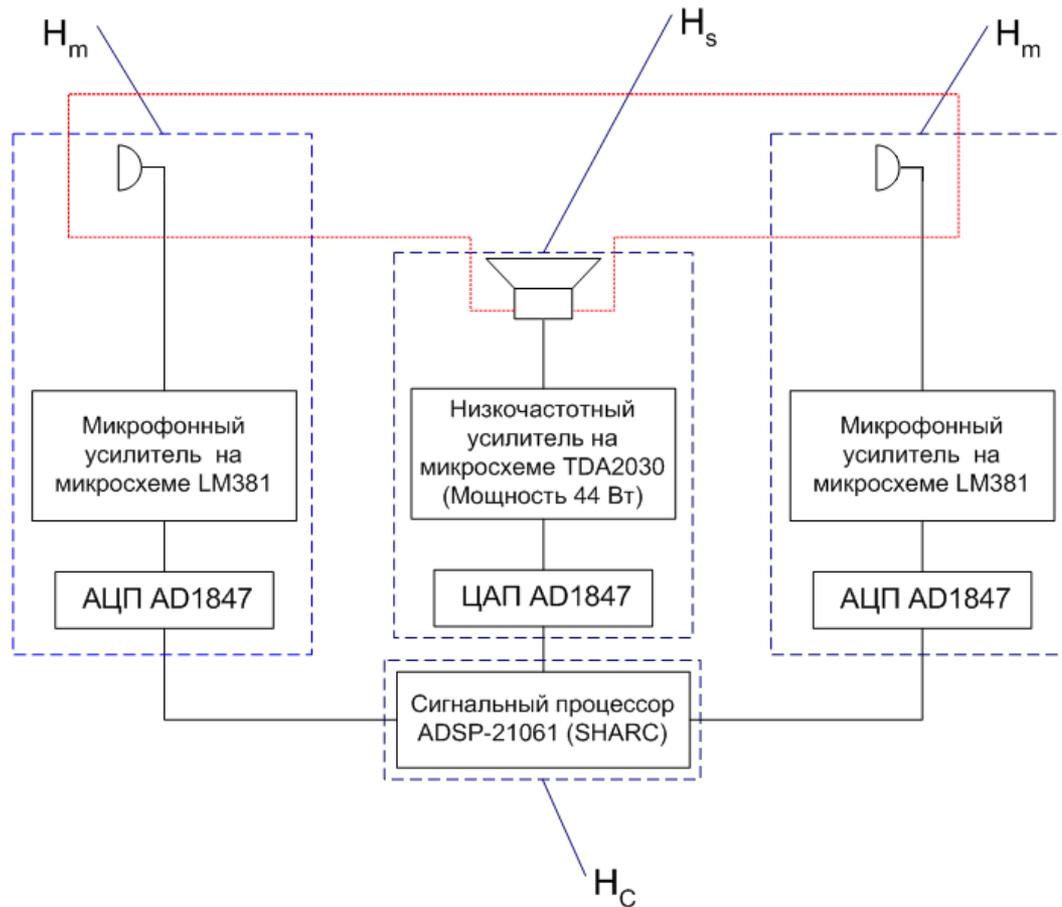
$G$ ,  $G_i$  и  $G_d$  — передаточная функции, определяющая задержку и затухание в звуковой волне при ее распространении соответственно от входа к выходу системы, от блока излучения до входа и от блока излучения, до выхода системы;

$V_A$  и  $V_B$  — преобразования Лапласа сигналов на выходах блоков излучения и управления соответственно.

$H_m$  и  $H_s$  — передаточные функции соответственно блоков приема и излучения звука.

$H_c$  — передаточная функция блока управления

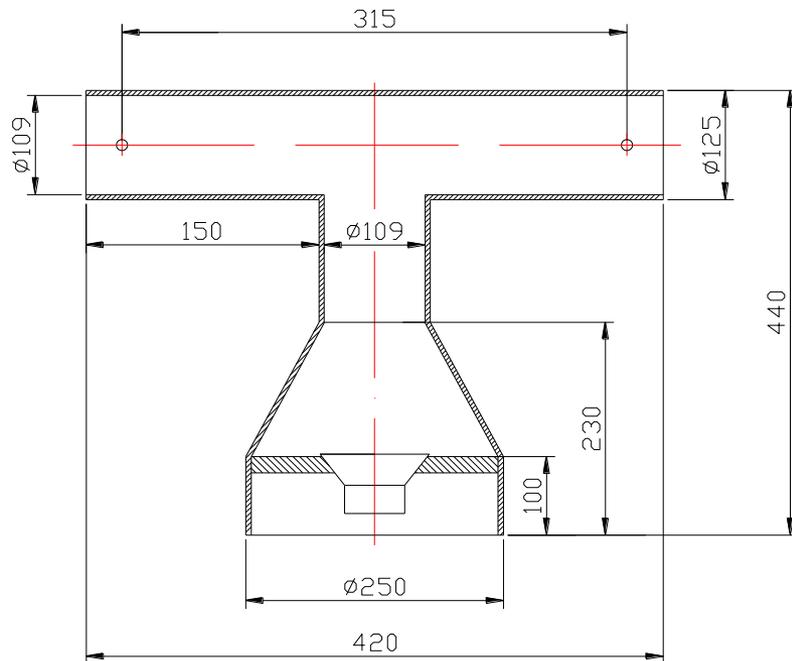
**Вывод:**  $H_{Copt}$  зависит не только от характеристик блоков приема и излучения звука, но и от функций  $G$ ,  $G_i$  и  $G_d$ , определяющих задержки в системе при распространении звука в волноводе.



## Требования к экспериментальной установке

1. Генерация акустического компенсирующего поля с различными спектральными и энергетическими характеристиками, а также возможность гибкого управления этими параметрами;
2. Анализ и обработка результатов экспериментальных исследований в цифровой форме с возможностью представления сигналов, как во временной, так и в частотной формах;
3. Простота и оперативность изменения алгоритма работы блока управления;
4. Возможность автоматизации процесса измерений с помощью дополнительного ПО, позволяющего программно реализовать процедуры обработки данных с измерительного микрофона, анализа и вывода полученной информации.

## Конструкция волновода экспериментальной установки



Волновое уравнение в цилиндрических координатах:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = 0$$

Фазовая скорость нормальной волны  $m$ -ого порядка:

$$c_{mn} = c \left[ 1 - \left( \frac{\omega_{mn}}{\omega} \right)^2 \right]^{-1/2}$$

Критические частоты нормальной волны:

$$\omega_{mn} = \pi \alpha_{mn} c / a$$

Условие распространения в волноводе плоской волны

$$d < 0,61\lambda$$

Технические характеристики динамической головки 30ГДН-33ДП

Номинальное электрическое сопротивление	4 Ом
Предельная шумовая мощность	30 Вт
Уровень чувствительности	88±2 дБ
Диапазон воспроизводимых частот	63-8000 Гц
Габаритные размеры	132x132x80 мм
Масса	1 кг

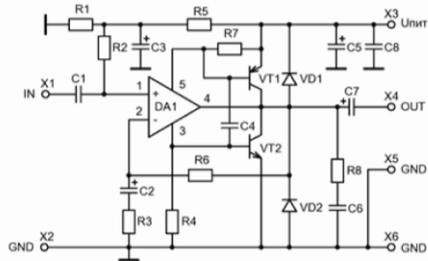
Технические характеристики электретного микрофона Panasonic WM-62A

Входное электрическое сопротивление	Не более 2,2 кОм
Тип диаграммы направленности	Круговая
Уровень чувствительности	-45±4 дБ
Диапазон рабочих частот	20-16000 Гц
Отношение сигнал/шум	Более 58 дБ
Габаритные размеры	ø6x2,7 мм
Масса	5 г



# Низкочастотный звуковой усилитель мощности

## Электрическая принципиальная схема усилителя



## Назначение усилителя

Предназначен для усиления формируемого блоком управления компенсирующего сигнала.

## Основные технические характеристики

Напряжение питания, В	12...44, типовое 36
Ток в режиме покоя, мА	50
Долговременная выходная мощность, Вт при КГ = 0.5 %, $U_{п} = 39$ В и $R_{н} = 4$ Ом	35
Долговременная выходная мощность, Вт при КНИ = 0.5 %, $U_{п} = 36$ В и $R_{н} = 4$ Ом	28
Долговременная выходная мощность, Вт при КНИ = 10 %, $U_{п} = 39$ В и $R_{н} = 4$ Ом	44
Долговременная выходная мощность, Вт при КНИ = 10 %, $U_{п} = 36$ В и $R_{н} = 4$ Ом	35
Коэффициент усиления по напряжению $A_u$ , дБ	20
Входное сопротивление, кОм	56
Входная чувствительность, мВ	890
Диапазон воспроизводимых частот, Гц	20...25000
Размеры печатной платы, мм	56x46

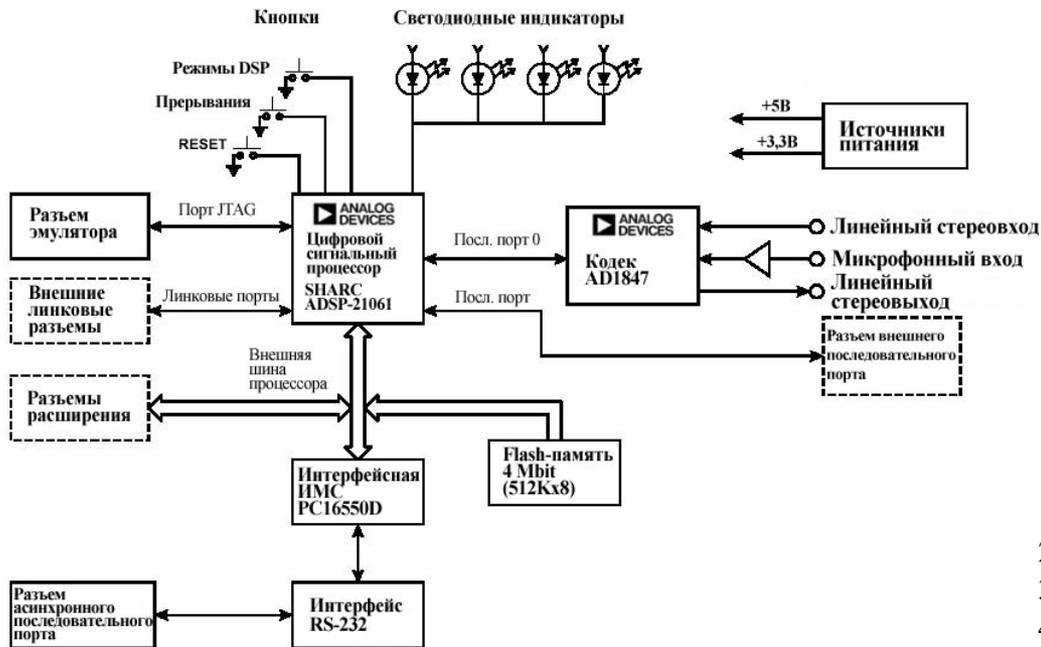
Листов	1	Лист	1
Сторон	1	Лист	1
Вариант	1	Лист	1
Изм.		№ док.	
Разраб.	Савицкий	Дата	
Проб.	Власов		
Контр.			
Исполн.			
Утв.			

Низкочастотный усилитель

Лист	1	Листов	2
МГТУ им. Н.Э.Баумана Кафедра ИУ-4 Группа ИУ-81			

Копировал \_\_\_\_\_ Формат А4

## Структурная схема блока управления на базе модуля ADDS-21061 Ez-Kit Lite



## Назначение блока управления

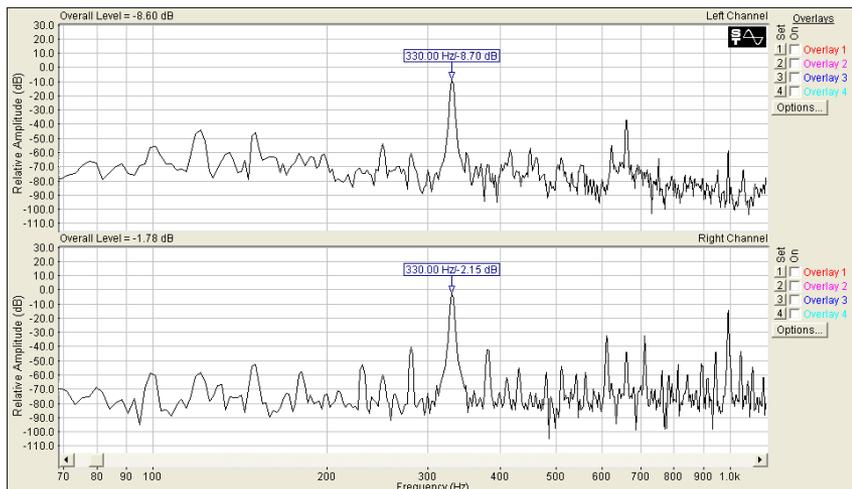
Предназначен для формирования компенсирующего сигнала на основе цифровой обработки поступающего на вход входного сигнала. Также может контролировать эффективность процесса гашения и на основании полученных данных выполнять автоматическую настройку передаточной функции блока.

## Основные технические характеристики

1. 32-разрядный цифровой сигнальный процессор с плавающей точкой ADSP-21061;
2. Flash-память, объемом 4 Мбит;
3. Дуплексный стерео кодек AD1847 (16 бит);
4. Интерфейс с ПК через COM-порт (RS-232);
5. Поддержка порта обращения к тесту JTAG;
6. Питание от сетевого напряжения 220 Вт/50 Гц с помощью прилагаемого адаптера;
7. Размер печатной платы 200x150 мм.

# Результаты экспериментальных исследований

## Спектрограмма звукового поля до начала гашения

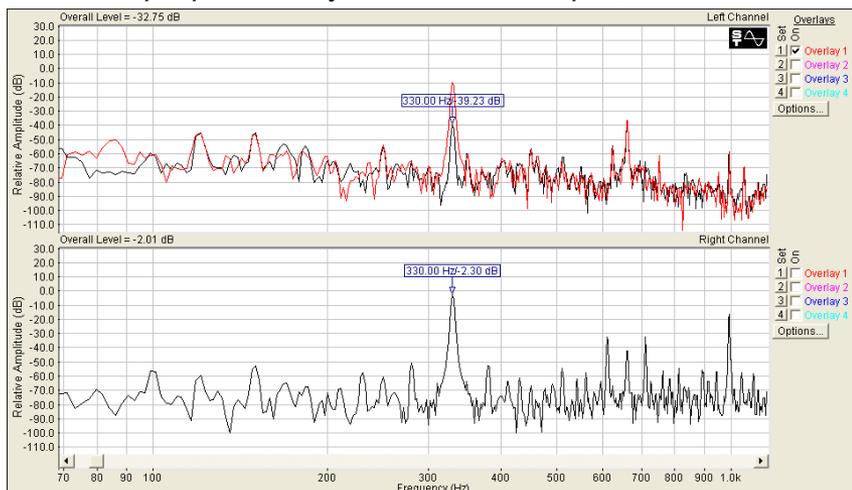


## Опыт №1

### Параметры входного сигнала

Форма сигнала	Sin
Частота сигнала	330 Гц
Амплитуда сигнала (на микрофоне ошибки)	-8.70 дБ
Начальная фаза	0°

## Спектрограмма звукового поля в процессе гашения

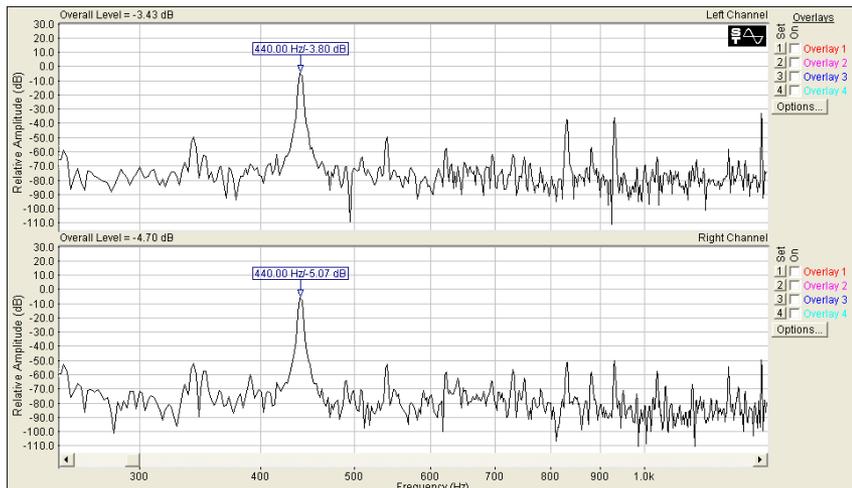


### Параметры компенсирующего сигнала

Форма сигнала	Sin
Частота сигнала	330 Гц
Амплитуда сигнала (на микрофоне ошибки)	-39.23 дБ
Начальная фаза	343°

**Вывод:** Достигнутая эффективность гашения составляет 30.52 дБ.

Спектрограмма звукового поля до начала гашения

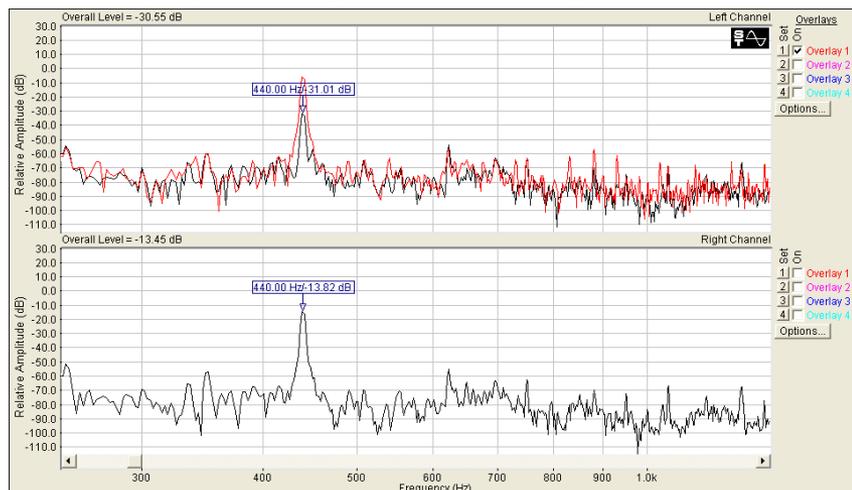


## Опыт №2

### Параметры входного сигнала

Форма сигнала	Sin
Частота сигнала	440 Гц
Амплитуда сигнала (на микрофоне ошибки)	-3.80 дБ
Начальная фаза	0°

Спектрограмма звукового поля в процессе гашения



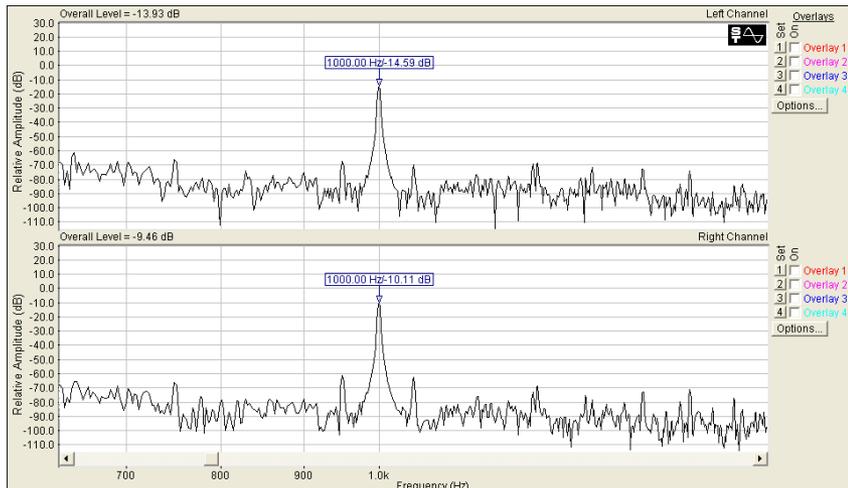
### Параметры компенсирующего сигнала

Форма сигнала	Sin
Частота сигнала	440 Гц
Амплитуда сигнала (на микрофоне ошибки)	-31.01 дБ
Начальная фаза	346°

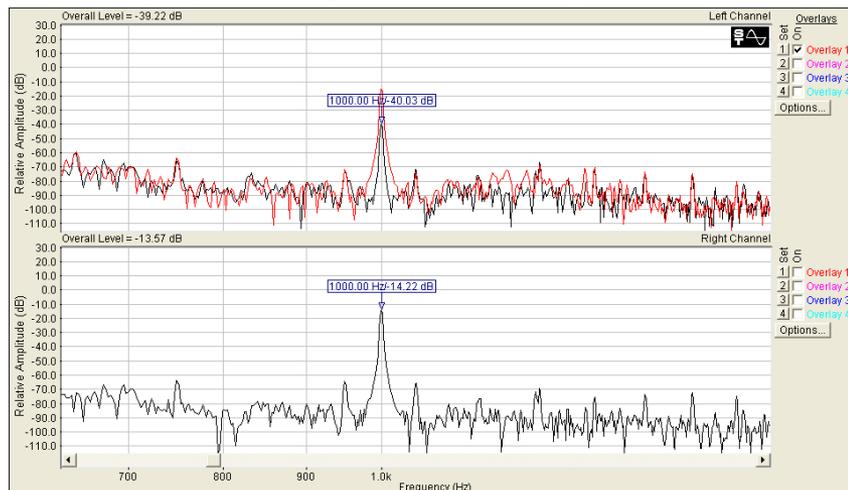
**Вывод:** Достигнутая эффективность гашения составляет 27.21 дБ.

# Результаты экспериментальных исследований

## Спектрограмма звукового поля до начала гашения



## Спектрограмма звукового поля в процессе гашения



## Опыт №3

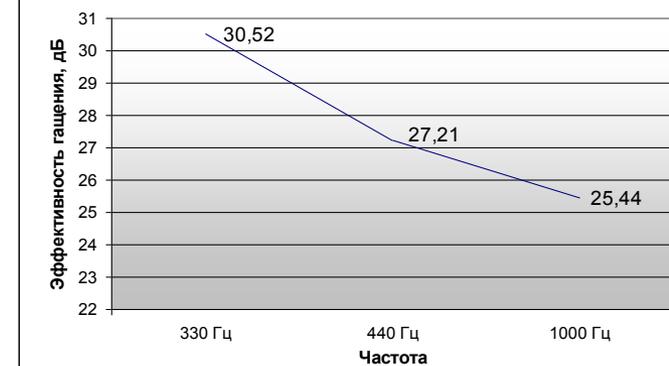
### Параметры входного сигнала

Форма сигнала	Sin
Частота сигнала	1 кГц
Амплитуда сигнала (на микрофоне ошибки)	-14.59 дБ
Начальная фаза	0°

### Параметры компенсирующего сигнала

Форма сигнала	Sin
Частота сигнала	1 кГц
Амплитуда сигнала (на микрофоне ошибки)	-40.03 дБ
Начальная фаза	205°

### Зависимость эффективности гашения от частоты входного сигнала



**Вывод:** Достигнутая эффективность гашения составляет 25.44 дБ.

1. Оценка уровня акустических шумов современной компьютерной техники показала крайне низкую эффективность традиционных пассивных средств снижения шума. Также показано, что на основании исследований особенностей спектральных характеристик и уровней этих шумов они представляют потенциальную угрозу для здоровья человека.
2. Обоснована низкая эффективность пассивных методов борьбы с шумом на низких частотах в воздуховодах систем вентиляции и кондиционирования и применимость методов активного снижения шума. Показана принципиальная возможность построения системы активного гашения шума в одномерном волноводе с эффективностью не менее 20 дБ для диапазона частот от 20 до 800 Гц
3. Проанализирован процесс распространения звуковых волн в одномерном акустически коротком волноводе и выведен критерий распространения в волноводе плоской волны. Выбран вариант структурной реализации САГ
4. Разработано структурно-функциональное построение экспериментальной установки активного гашения шума на базе одномерного акустически короткого волновода, изготовлен прототип установки и необходимые вспомогательные устройства в составе низкочастотного звукового усилителя и двухканального микрофонного усилителя.
5. Выполнены эксперименты для определения эффективности гашения разработанной системы. Результаты экспериментов хорошо сочетаются с предсказанными теорией.

### **Результаты исследований и разработок докладывались на студенческих конференциях:**

1. Сафиуллин Р.Р. Разработка экспериментального стенда для исследования систем снижения акустических шумов в одномерных волноводах // Материалы федеральной итоговой научно-технической конференции творческой молодёжи России по естественным, техническим, гуманитарным наукам – М.: МИЭМ, 2003. - 241с.
2. Сафиуллин Р.Р. Исследование систем активного снижения акустических шумов в одномерных волноводах // Тезисы докладов 11-ой Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Микроэлектроника и информатика 2004» – М.: МИЭТ, 2004. - 444 с.
3. Сафиуллин Р.Р. Экспериментальные исследования систем активного гашения шума в одномерном акустически коротком волноводе. // Сборник докладов студенческой научной конференции «Научоемкие технологии и интеллектуальные системы 2004». - М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004.
4. Прототип экспериментальной установки удостоен диплома 1 степени на 6-й студенческой научной конференции «Научоемкие технологии и интеллектуальные системы 2004».