

Система контроля разнесённых акустических шумов

В.В. Терсин, В.В. Булкин

*Муромский завод радиоизмерительных приборов,
Муромский институт Владимирского государственного университета, г. Муром,
E-mail: vvbulkin@mai.ru*

Представлены результаты разработки и экспериментальной проверки системы получения и обработки данных контроля разнесённых акустических шумов. Система реализована с использованием графического языка программирования G среды LabView. Измеренная реализация звукового сигнала в виде 40000 16-ти разрядных двоичных чисел обрабатывается с помощью быстрого преобразования Фурье. Получается дискретный спектр звукового сигнала в диапазоне от 0 до 20 КГц с шагом 1 Гц. Сформулированы достоинства и недостатки системы

Control Systems spaced acoustic noise

V.V. Tersin, V.V. Bulkin

*Murom Plant of Radio Measuring Instruments, Murom
Murom Institute Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nickolay
Grigoryevich Stoletovs, Murom*

*The results of the system check are presented
The results of the development and experimental verification of a system for obtaining and processing diversity acoustic noise control data are presented. The system is implemented using the LabView G graphical programming language. The measured audio signal implementation in the form of 40,000 16-bit binary numbers is processed using the fast Fourier transform. The result is a discrete spectrum of the audio signal in the range from 0 to 20 KHz with a step of 1 Hz. The advantages and disadvantages of the system are formulated.*

Введение

Проблема шума на городских территориях и в производственных, а также жилых помещениях становится одной из существенных техносферных проблем. Акустический шум занимает третье по важности место среди экологических опасностей. Многочисленные исследования показывают, что акустический шум оказывает существенное неблагоприятное воздействие на психологическое и биологическое здоровье человека, состояние социальной среды [1].

Принято считать, что в последние годы уровень шума в техносфере увеличивается не менее, чем на 0,5 дБ в год. Таким образом, задача изучения и анализа акустического шума техногенного происхождения становится актуальной [2].

Применяемые в настоящее время шумомеры относятся к различным классам, имеют разные возможности [3]. В классическом варианте шумомер представляет собой измерительную систему, в которой функции датчика выполняет микрофон, имеется усилитель, набор полосовых фильтров, а результат отображается либо с помощью стрелочного прибора, либо цифрового табло. Оценка осуществляется либо в среднем по всему диапазону, либо на среднегеометрических частотах октавных диапазонов. Более сложные системы обеспечивают проведение одномоментных измерений в октавных (долеоктавных) диапазонах, позволяя сохранять результаты измерений, осуществлять встроенную и компьютерную обработку полученной информации.

Вместе с тем, известны задачи, когда требуется оценить и сопоставить акустические сигналы в удалённых друг от друга зонах, что предусматривает наличие

как минимум двухканальной системы измерений. Такие системы могут обеспечить оценку ослабления уровня шума при распространении от источника до рабочей точки в случае неповторяющихся импульсных шумов, при оценке эффективности шумозащитных средств и т.д. Особенно интересным является применение таких средств в учебном процессе, где, во-первых, могут решаться достаточно специфические задачи подготовки специалистов самых разных специальностей, а во-вторых, не всегда возможно применение высокоточной дорогостоящей аппаратуры.

Таким образом, актуальной становится задача создания простых, доступных в работе средств анализа шумовых характеристик разнообразных шумовых сигналов на базе известных вычислительных программ с использованием общедоступных периферийных устройств и систем.

Описание системы

Программа одновременного анализа спектров 2-х звуковых сигналов использует графический язык программирования G среды LabView [4]. Входными данными являются время анализа, размер выборки и частота дискретизации. Длина измеряемой реализации определяется отношением размера выборки к частоте дискретизации и при выбранных по умолчанию одинаковых значениях (40000) равна 1 сек, а количество измеренных реализаций каждого звукового сигнала – отношением времени анализа к длине измеряемой реализации. Константами задаются число каналов подключения каждого из микрофонов (1), количество бит (16) оцифрованного звукового сигнала и номера каналов подключения микрофонов (0 и 2) к USB портам ПЭВМ. Выбор среды LabView обусловлен удобством написания программ и ее широкими возможностями по созданию объектно-ориентированных многопоточных приложений для работы с устройствами в реальном времени [4, 5, 6].

Структурная схема представлена на рис. 1.



Рис. 1 - Структурная схема двухканальной системы

Измерения сигнала с выхода каждого микрофона (МкФ1 и МкФ2) с требуемым числом повторений, определяемом длиной реализации, производятся в каждом модуле «Формирование выборки» каждого из 2-х потоков отдельным объектом. Каждый объект

создаётся собственным конструктором, считывает текущую реализацию из 40000 отсчетов с выхода своего микрофона и удаляется из памяти после получения необходимой последовательности реализаций с помощью деструктора. Возможность последовательного считывания реализаций с помощью цикла (потока) задается каждому конструктору с помощью специальной опции. Каждая измеренная реализация последовательно отображается на одном графике в реальном времени. Считывание отдельных реализаций с выходов обоих микрофонов происходит параллельно и занимает ту же 1 сек, что и для одного микрофона, так как процессор освобождается в паузах между отдельными измерениями на время, обратное частоте дискретизации.

Каждая реализация звукового сигнала, полученная в виде 40000 16-ти разрядных двоичных чисел, обрабатывается с помощью быстрого преобразования Фурье в модуле «Вычисление текущего спектра». В результате получается текущий дискретный спектр звукового сигнала в диапазоне от 0 до 20 кГц с шагом 1 Гц, который также последовательно отображается на одном графике в реальном времени.

Полученный на очередной итерации спектр сигнала с выхода каждого из двух микрофонов суммируется с предыдущим, изначально нулевым спектром на каждой дискретной частоте. По завершении каждого из 2-х потоков (циклов) измерений вычисляется соответствующий, усреднённый за заданное время анализа, спектр f_{cp} звукового сигнала, который после перевода в децибелы отображается на экране и запоминается в одномерном массиве

$$f_{cp}(n) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (1)$$

где x_i – полученное текущее значение спектра; n – число измеренных реализаций.

Альтернативой указанному и широко используемому способу получения среднего значения по завершению цикла усреднения является вычисление текущего среднего на каждой итерации цикла усреднения с помощью индуктивной функции

$$f_{cp}(n) = \frac{(n-1) \times f_{cp}(n-1) + x_n}{n}. \quad (2)$$

Именно этот вариант изображён на структурной схеме. Преимуществом этого варианта является получение возможности наблюдения за изменением среднего спектра в реальном времени. В этом случае нет необходимости задавать заранее время наблюдения, так как появляется возможность прекратить измерения при достижении необходимой точности результатов [7].

Средний разностный спектр вычисляется в модуле «Логарифмирование и вычисление текущей разности спектров» как отдельный третий поток с заданным числом повторений. Информация о текущих спектрах, вычисленных в первых 2-х потоках по каждой реализации длительностью 1 сек, поступает в этот поток на каждой итерации. Полученные текущие спектры после перевода в децибелы вычитаются на каждой дискретной частоте. Полученная разность суммируется с предыдущей текущей разностью, изначально установленной в 0. По завершении третьего потока вычисляется средняя разность спектров, которая также отображается на экране на отдельном графике и запоминается в одномерном массиве.

Из 3-х сформированных одномерных массивов, содержащих два средних спектра акустических сигналов, а также среднюю разность логарифмических значений спектров этих же сигналов, с помощью двух вложенных циклов модуль «Отбор значений по заданным частотам» формирует двумерный массив. Каждая строка содержит 4-е элемента: значение выбранной частоты в герцах, средние значения

спектров 1-го и 2-го акустических сигналов в децибелах, а также среднюю разность логарифмических значений спектров этих же сигналов тоже в децибелах. Сформированный двумерный массив сохраняется в файле в виде электронной таблицы.

Результаты анализа микрофонных капсулей

В системе использовались простейшие микрофоны, состоящие из микрофонных капсулей и держателей. Акустический сигнал – шумоподобный, типа «белый шум», с достаточно равномерным распределением в пределах диапазона 20-20000 Гц, также сформированный с использованием среды LabView. Время оценки – 60 сек.

Предварительно были проведены измерения с использованием нескольких десятком капсулей с целью выявления сходных картин АЧХ. При проведении измерений микрофоны случайными парами располагались в верхней части акустической камеры. Для фиксации капсулей использовались два держателя, имитирующих микрофон. Затем были отобраны пары, имеющие сходные спектры сигнала.

Проверка проводилась с использованием лабораторной акустической камеры, разработанной для применения в учебном процессе и научно-исследовательской работе студентов, описание которой дано в [8], имеющей внешние размеры порядка 2 м, 1 м и 0,8 м при вертикальной ориентации. С целью выравнивания характеристики камеры и снижения уровня эха внутренняя поверхность покрыта звукопоглощающим материалом - акустическим поролоном с использованием т.н. бас-ловушек для поглощения низкочастотных акустических сигналов.

Широкополосная акустическая системастроена в нижнюю часть конструкции камеры. Направление излучения акустического сигнала – снизу-вверх.

Результаты сопоставления некоторых капсулей представлены на рис.2, 3 и 4. Во всех случаях первый и второй спектры – это спектры акустического сигнала, фиксируемые первым (в данной паре) и вторым капсулями, третий – разностный спектр (с вычитанием второго из первого).

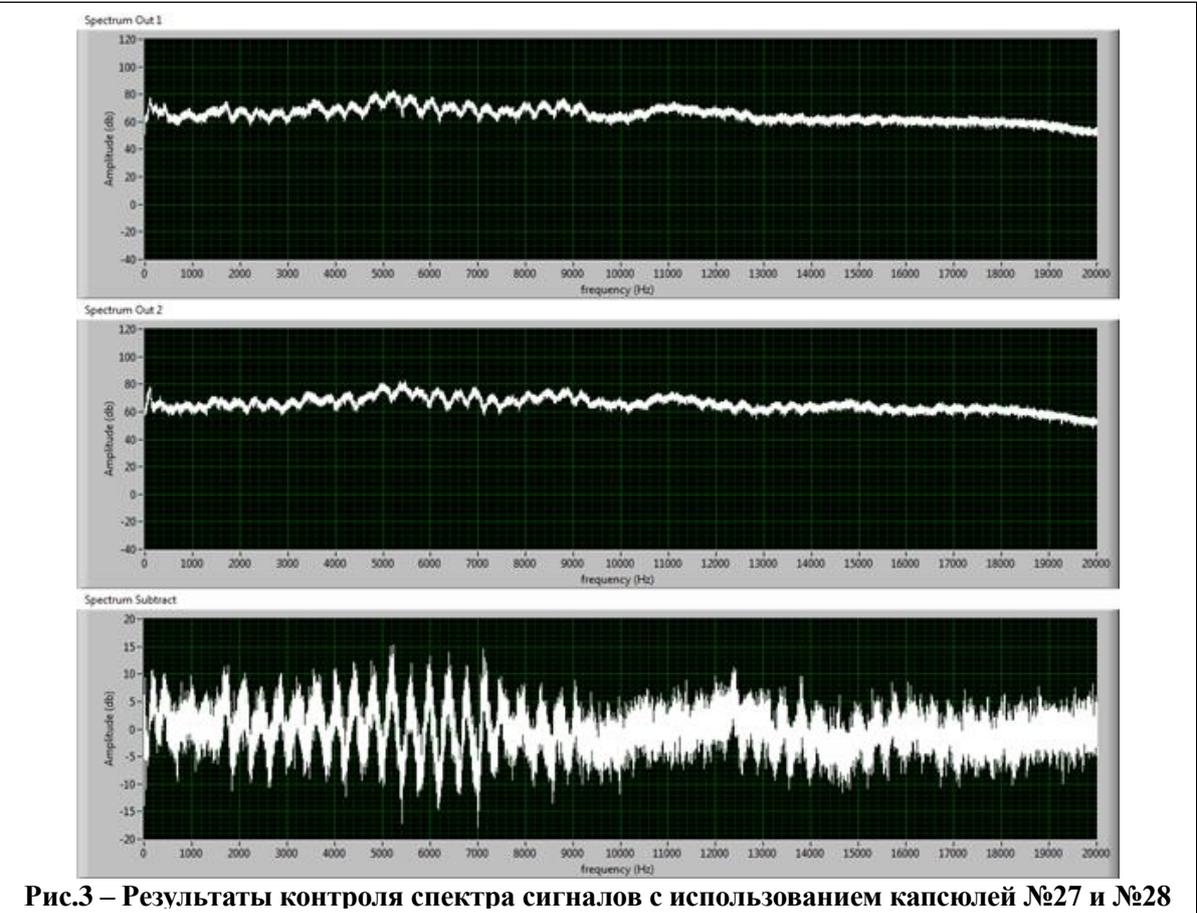
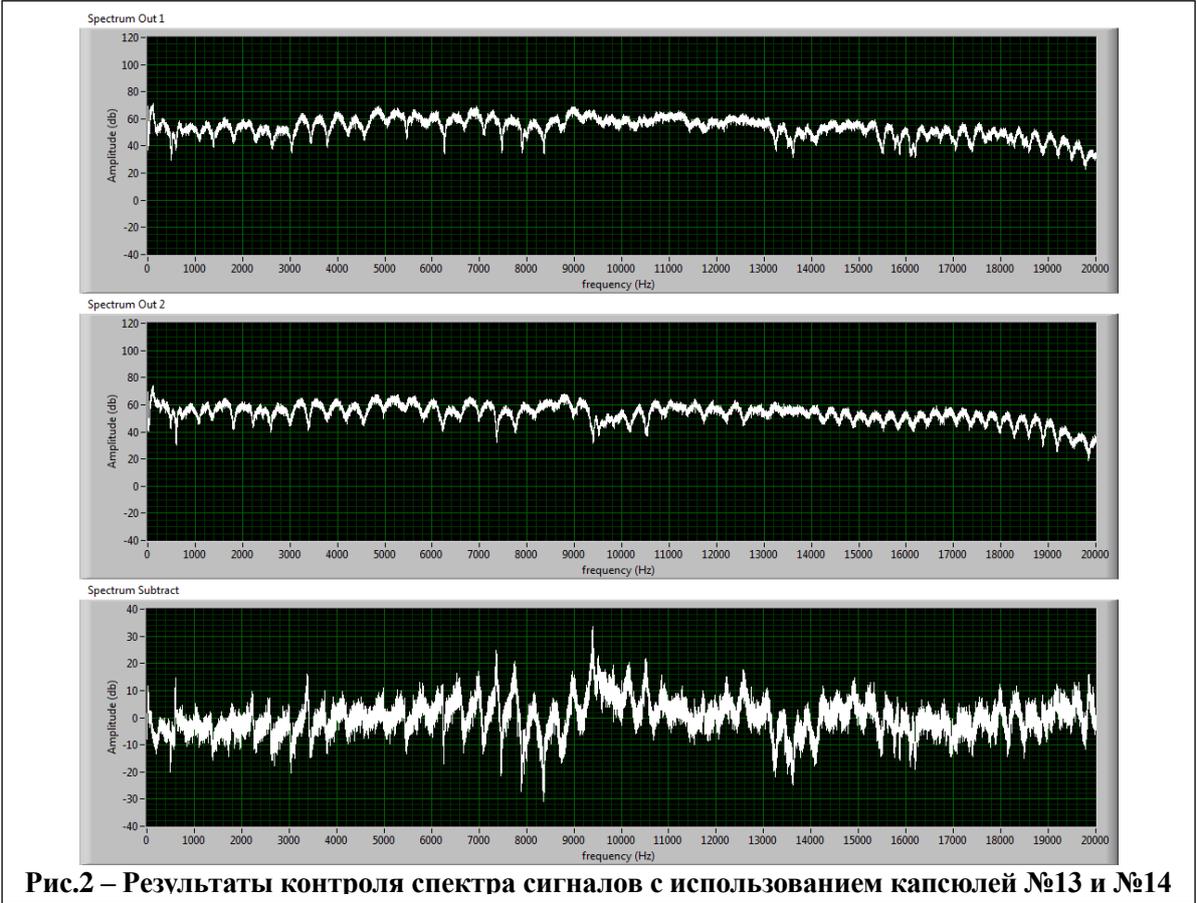
Как следует из сопоставления спектров сигналов, говорить о полном соответствии АЧХ микрофоновне приходится, поскольку характер изменения средней линии во всех случаях различен. Анализ отклонений АЧХ разности спектров показывает, что во всех случаях имеет место различие, достигающее до 30 дБ (капсули №13 и №14), что не позволяет говорить о применении таких капсулей для построения прецизионной измерительной системы.

Вместе с тем, следует учитывать и то, что действующими методиками измерений акустического шума предусматривается анализ сигналов на средневзвешенных частотах октавных или долеоктавных диапазонов [8]. Поскольку, как уже отмечалось, разработанная система обеспечивает сохранение данных в виде базы, построенной на фиксировании уровня звукового давления (УЗД) именно на средневзвешенных частотах с возможностью выбора диапазонов, воспользуемся данными фиксации этих измерений и представим в виде графиков разностные изменения УЗД в третьоктавных и октавных диапазонах (рис.5, 6 и 7).

Из анализа этих АЧХ видно, что в первом случае (капсули №13 и №14) различия в АЧХ доходят до ± 10 дБ, в то время как во втором случае (капсули №27 и №28) речь идёт об отклонениях $+7 \div -5$ дБ в третьоктавном и $+6 \div -5$ дБ в октавном диапазонах.

Что касается третьего случая (капсули №31 и №32), то отклонения в третьоктавном диапазоне составляют $+6,5 \div -6$ дБ, что в целом совпадает со вторым случаем, а вот в октавном диапазоне отклонения на уровне $+3 \div -0,5$ дБ, что существенно меньше остальных случаев.

Следует отметить, что в третьоктавных диапазонах средневзвешенные частоты учитывались от 25 до 16000 Гц, а в октавных - от 63 до 8000 Гц.



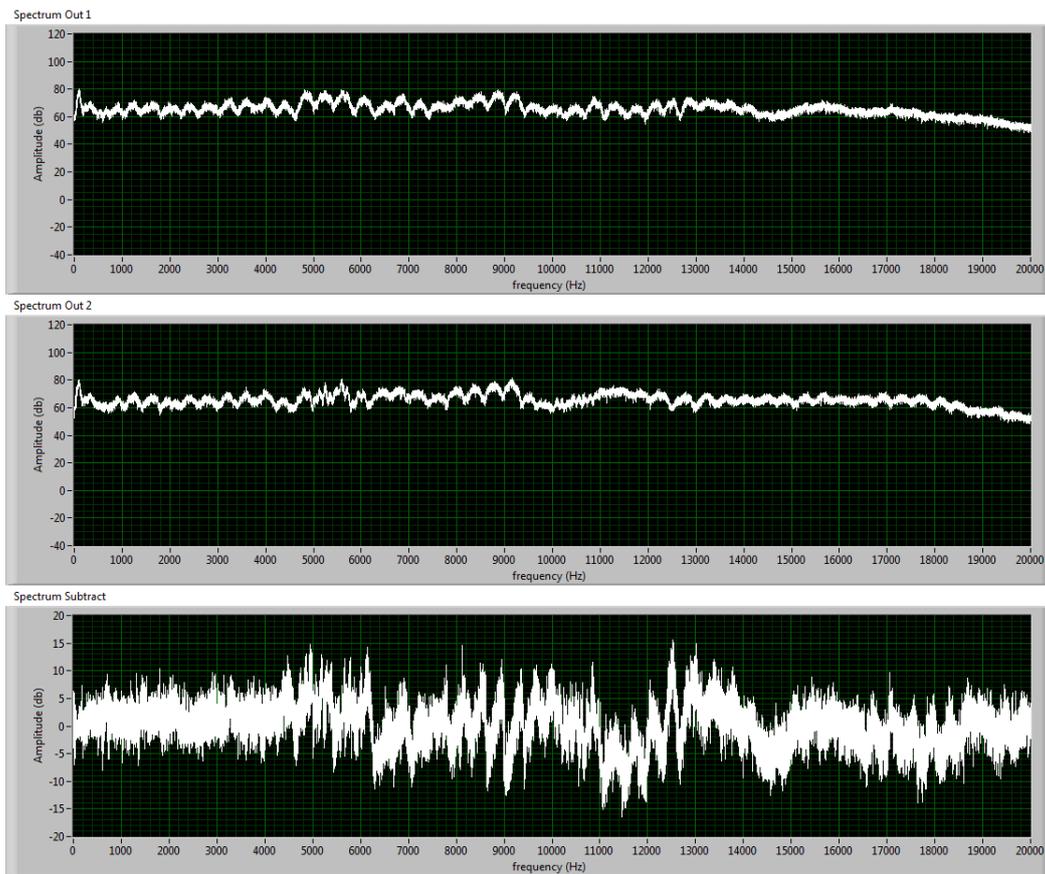


Рис.4 – Результаты контроля спектра сигналов с использованием капсулей №31 и №32

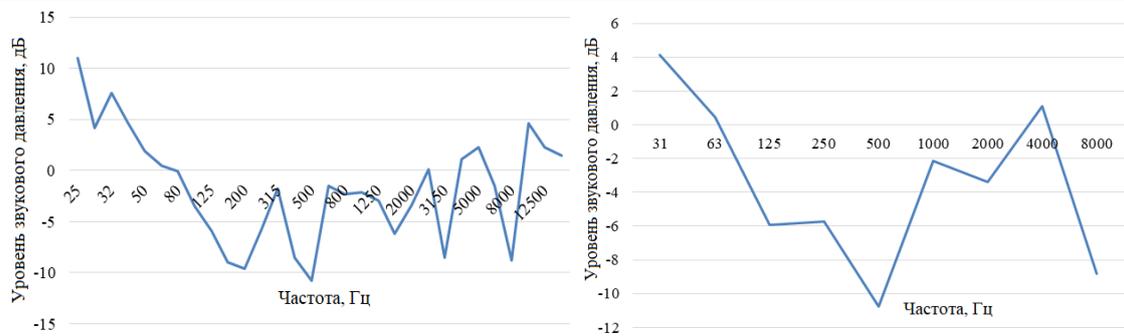


Рис.5 – Результаты контроля спектра сигналов с использованием капсулей №13 и №14 в третьоктавных и октавных диапазонах (разностный спектр)

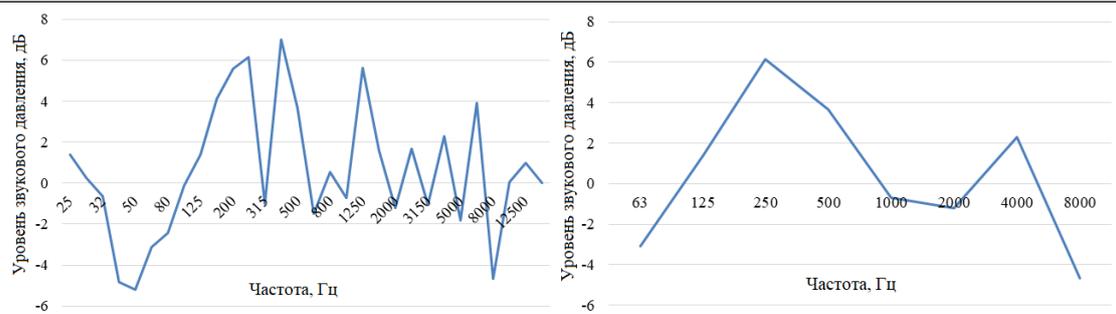
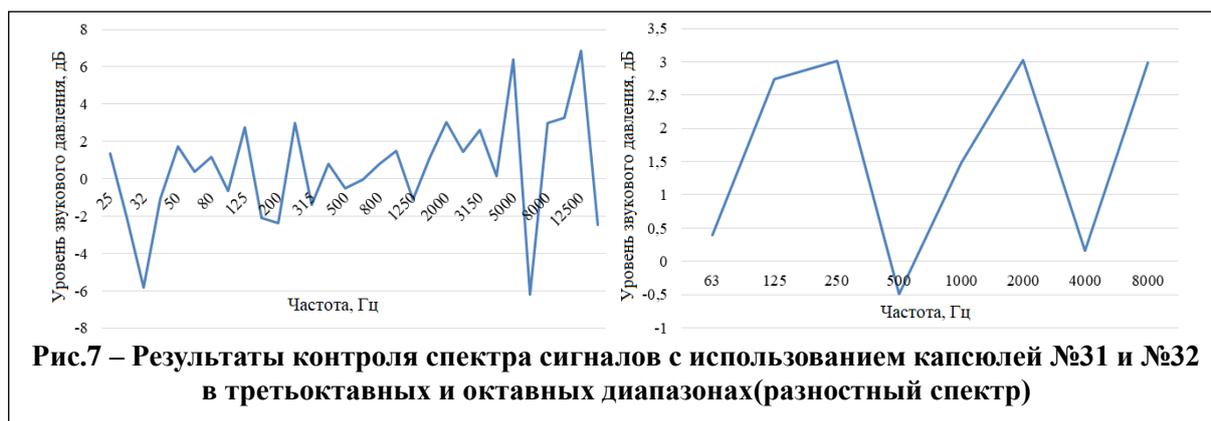


Рис.6 – Результаты контроля спектра сигналов с использованием капсулей №27 и №28 в третьоктавных и октавных диапазонах(разностный спектр)



Заключение

Анализ результатов проведённых исследований показывает, что применение разработанной измерительной системы в совокупности с простейшими микрофонными электретными капсулями для проведения прецизионных измерений мониторингового характера не представляется возможным в силу слишком больших различий в их индивидуальных АЧХ.

Однако их применение в системах качественной оценки изменений УЗД, там, где измерения могут проводиться с некоторой погрешностью, вполне возможно. Например, применение такой системы с парой капсулей №31 и №32 (или аналогичных, выявленных в ходе дальнейшего анализа и отбора) вполне возможно в случаях оценочных измерений при анализе изменения УЗД акустических сигналов по трассе распространения (на небольших расстояниях), оценке эффективности шумозащитных средств общего применения, в других случаях.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-38-00909.

Литература

1. V.V. Bulkin, *Noise pollution of industrial cities (the example Murom)*, Ecological Systems and Devices, v. **1**, pp 18-21 (2016)
2. Т.Д. Щёлокова (Хромулина). *Актуальность исследования шумового загрязнения в городах* / Ежемесячный Международный научный журнал «Символ науки». – Уфа, 2015, №11-1. – С. 72-74.
3. IEC 61672-1:2002, *Electroacoustics - Sound level meters*, Part 1: Specifications (MOD), 31 P. (2012)
4. Суранов А.Я. *LabVIEW 8.20: Справочник по функциям*. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 536 с.
5. Jeffrey Travis, Jim Kring, *LabVIEW for Everyone: Graphical Programming Made Easy and Fun* (Crawfordsville: Prentice Hall, 2007)
6. Магда Ю.С. *LabVIEW: практический курс для инженеров и разработчиков*. – М.: ДМК Пресс, 2011.– 208 с.
7. Tersin V.V., Bulkin V.V., Khromulina T.D. System for receiving and processing diversity acoustic noise control data / ITM Web of Conferences, v. 30, 2019, 29th International Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2019), Sevastopol, Russia, September 8-14, 2019 / 04005 (2019) Published online: 27 November 2019 DOI: <https://doi.org/10.1051/itmconf/20193004005>
8. Зайцев А.В., Пузырёв В.И., Шеронова Т.С., Булкин В.В. Модернизация лабораторной акустической камеры / Методы и устройства передачи и обработки информации, 2018, Вып.20. –С.14-20.