

**Методические указания**  
к лабораторной работе по дисциплине «Аудиотехника»

## Исследование методов оценки качества звуковых сигналов

### Цель работы

Изучение методов оценки качества современного каналообразующего оборудования на примере кодека стандарта MPEG-1 ISO/IEC 11172-3 Layer 3 (MP3), а именно:

- традиционных методов объективной оценки качества (МООК) (в соответствии с ГОСТ-Р 52742-2007);
- методов субъективной оценки качества – субъективно-статистических экспертиз;
- перцепционных методов объективной оценки качества (ПМООК).

### Теоретическая справка

Процедура оценки качества сводится к сравнению двух сигналов – эталонного (не искаженного) сигнала и исследуемого (искаженного) сигнала, т.е. эталонного сигнала, пропущенного через тестируемое устройство. На основе сопоставления характеристик этих двух сигналов построены все современные методы оценки качества (см. рисунок 1).

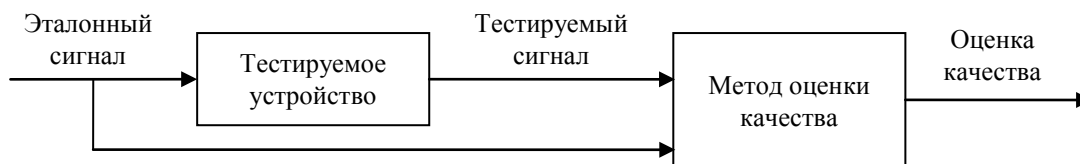


Рис. 1. Общая схема оценки качества

### Традиционные методы объективной оценки качества

Методика объективной оценки качества, как правило, заключается в процедуре измерения одного или нескольких параметров исследуемого звукового сигнала (акустического или электрического). В качестве исследуемых сигналов могут быть использованы как натуральные, так и искусственные (специально синтезированные для этой цели) звуковые сигналы.

ГОСТ-Р 52742-2007 [1] регламентирует основные параметры звуковых сигналов, методы измерений, требования к проведению испытаний, а также нормы допуска на исследуемые параметры. Действие данного стандарта распространяется на действующие цифровые и аналоговые каналы и тракты звукового вещания и каналы звукового сопровождения телевидения, тракты формирования программ и первичного распределения, тракты передатчика, тракты проводного вещания, стереофонические тракты, каналы и их отдельные звенья. В стандарте оговариваются нормы допустимых значений таких основных параметров как:

- полоса передаваемых частот;
- неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ);

- коэффициент гармоник;
- защищенность от взвешенного шума (для трактов проводного вещания от невзвешенного шума);
- защищенность от внятной переходной помехи;
- отклонение выходного уровня от номинального значения (для передатчиков входного уровня);
- коэффициент разностного тона;
- изменение группового времени прохождения;
- разность фаз в каналах А и В, образующих стереопару;
- защищенность от внятных переходных помех между каналами А и В, образующими стереопару;
- разность уровней на выходах каналов А и В, образующих стереопару (для передатчиков разбаланс АЧХ в соответствии с ГОСТ-Р 51741 и ГОСТ-Р 51742).

Дополнительно для цифровых каналов звукового вещания нормируют два параметра:

- защищенность от продуктов внутриполосной перекрестной модуляции второго и третьего порядка;
- защищенность от продуктов внеполосной перекрестной модуляции первого и второго порядка.

Более подробно ознакомиться с нормами допуска, методами измерений и требованиями к используемому оборудованию можно в тексте ГОСТ-Р 52742-2007 [1].

### **Субъективно-статистические экспертизы**

Субъективные методы оценки качества, проводимые в форме субъективно-статистической экспертизы, можно также разделить на две группы:

- интегральные, которые предусматривают оценку качества звучания по общему звуковому впечатлению;
- дифференциальные, которые выделяют присущие данному виду звукового сигнала параметры качества.

Существующие рекомендации Международной организации по стандартизации (ISO) и Международного Электротехнического Комитета (IEC) на методы субъективных испытаний предусматривают, в основном, интегральную оценку качества. Эксперт выставляет оценку при сравнении звучания исследуемого тракта с другим по общему звуковому впечатлению, не разделяя свои ощущения на отдельные компоненты. Такой метод оценки не позволяет судить о причинах, вызывающих предпочтительность того или иного устройства. Этого недостатка можно избежать при дифференцированной оценке качества звучания. Данный метод основан на способности эксперта разделять на компоненты всю совокупность ощущений, возникающих при прослушивании звуковой программы, и оценивать качество звучания по каждому из них отдельно, а также вклад каждого из них в обобщенную оценку качества. Это вызывает необходимость точного определения исследователем каждого признака качества в процессе проведения экспертизы и возможность ее отчетливого выделения при прослушивании. Основными компонентами качества являются: пространственное впечатление, прозрачность звучания, тембр, мешающие помехи («чистота звучания»), музыкальный баланс, совместимость,

аранжировка, техника записи и др. Очевидно, что в этом случае в качестве экспертов должны привлекаться тренированные слушатели с проверенным слухом [2].

Для получения достоверной оценки качества проводится процедура прослушивания с участием большого числа экспертов. Такие исследования называют субъективно-статистическими экспертизами (ССЭ).

Результаты субъективно-статистических экспертиз зависят от многих факторов, важнейшие из которых: параметры помещения прослушивания; выбор тестовых программ; отбор и тренировка экспертов; метод выбора оценок и обработки результатов; требования к источникам программ и т.д. Это приводит к разбросу результатов отдельных субъективно-статистических экспертиз. По этой причине для анализа результаты испытаний применяют аппарат теории вероятностей и математической статистики.

Основными документами, используемыми при организации субъективных экспертиз в нашей стране, являются

- ОСТ 4.202.003-84 «Метод экспертной оценки качества звучания» [3],
- IEC 268-5, Part-B Sound System Equipments “Listening tests on loudspeakers” [4],
- AES-20-1996, AES recommended practice for professional audio-subjective evaluation of loudspeakers [5],
- ITU-R Recommendation BS.1116-1, Methods for subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems [6].

Более подробно ознакомиться с методикой организации и проведения субъективно-статистических экспертиз, с видами шкал классификации искажений и с требованиями к подготовке тестовых программ можно в вышеуказанных рекомендациях, а также в учебнике «Электроакустика и звуковое вещание» [2].

### **Перцепционные методы объективной оценки качества**

Перцепционные методы<sup>1</sup> объективной оценки качества (ПМООК) построены на основе моделирования свойств слуховой системы и процессов восприятия искажений человеком. Исследованием особенностей слухового восприятия занимается раздел психофизики – психоакустика<sup>2</sup>. Она представляет собой область науки, граничную между техникой связи и физикой, с одной стороны, и биологией – с другой. Как и другие методы оценки качества, ПМООК оценивает присутствующие в исследуемом сигнале искажения на основе сравнения его с эталонным сигналом (см. рисунок 1). Целью ПМООК является получение оценки качества звукового сигнала, которая совпадала бы с результатом ССЭ.

На сегодняшний день наиболее перспективным является ПМООК Perceptual Evaluation of Audio Quality (PEAQ) [7].

В рамках лабораторной работы исследование ПМООК PEAQ будет проводиться с помощью программы оценки качества (ПОК) ‘PEAQ Wizard’, которая была разработана Ивановым А.С. на кафедре РПВЭС.

При разработке рассматриваемого ПМООК были использованы наиболее успешно зарекомендовавшие себя способы оценки качества (оценка порога маскировки, сравнение «внутренних представлений», спектральный анализ) (рисунок 2). С помощью уточненной

---

<sup>1</sup> *Перцепционный* – относящийся к восприятию. Перцепция (от лат. *perception* – понимание, познание) – отражение непосредственно воздействующих на органы чувств предметов и явлений реального мира. В данном случае имеется в виду восприятие человеком звуковых сигналов.

<sup>2</sup> Исследование соотношений между результатами чувственных экспериментов и физическими параметрами раздражителей составляет предмет *психофизики*; раздел психофизики, посвященный звуковым образам и акустическим сигналам, называется *психоакустикой* [15].

психоакустической модели в этом методе осуществляется расчёт многомерного показателя качества, представляющего собой набор величин, численно характеризующих вероятность слуховой заметности искажений, отношение шум–маска (NMR – Noise-to-Masked-Ratio), громкость частично маскированных искажений, отличие модуляции эталонного и исследуемого сигналов, их полосы частот и гармоническую составляющую сигнала искажений. В качестве способа пересчёта многомерного показателя качества к обобщённой объективной оценке качества используется наиболее успешно зарекомендовавшая себя при решении подобных задач искусственная нейронная сеть, уже обученная по результатам ССЭ. Для реализации кратковременного спектрального анализа входных сигналов в рамках рассматриваемой ПОК используется математический аппарат БПФ.

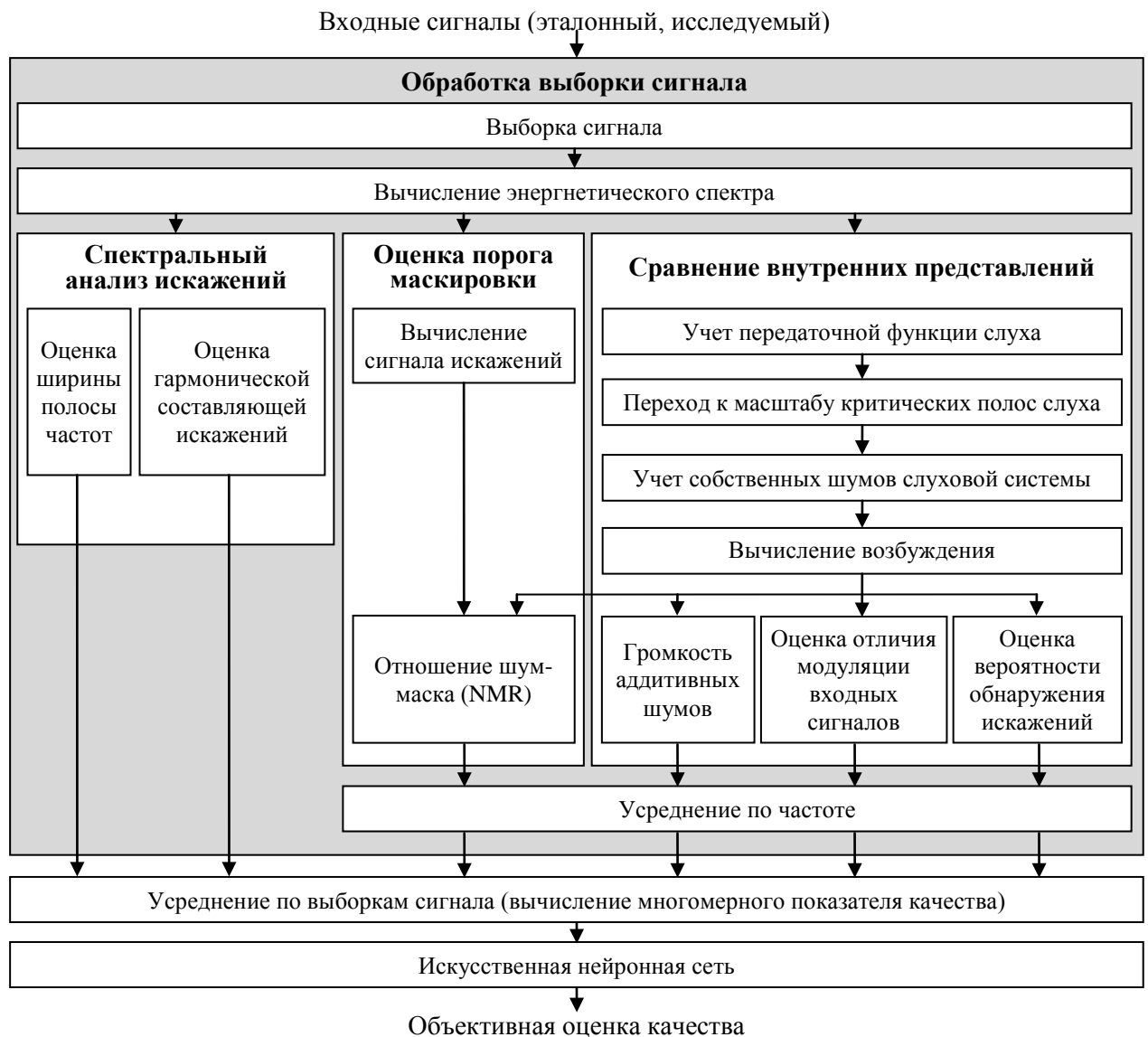


Рис. 2. Схема ПОК

В PEAQ для отображения выходных величин к объективной оценке качества используется искусственная нейронная сеть с одним скрытым слоем (рисунок 3). Процедура обучения данной сети, позаимствованная разработчиками ПОК в Canadian Communication Research Centre, построена на основе алгоритма обратного распространения.

Заключительным этапом работы ПОК является вычисление обобщённой объективной оценки качества исследуемого сигнала. Здесь осуществляется окончательный расчёт средних значений величин, характеризующих заметность различных видов искажений, и вычисление на их основе обобщённой объективной оценки качества.

Наиболее удобным для получения независимой от окончательного масштаба оценки качества величины является использование значения, (см. рисунок 3.2). На этом этапе выходные величины являются уже объединенными в единственное Значение, получаемое на входе последнего нелинейного элемента нейронной сети, которое в последствии должно быть отображено к значению объективной оценки качества, получило название *индекс искажений* (distortion index (DI)). Оно может быть вычислено с помощью формулы (1), выражение для которой и соответствующие коэффициенты позаимствованы из искусственной нейронной сети.

$$DI = w_y[J] + \sum_{j=0}^{J-1} \left[ w_y[j] \cdot \text{sig} \left( w_x[I, j] + \sum_{i=0}^{I-1} w_x[i, j] \cdot \frac{x[i] - a_{\min}[i]}{a_{\max}[i] - a_{\min}[i]} \right) \right] \quad (1)$$

Значение объективной оценки качества (Objective Difference Grade (ODG)), выраженное через индекс искажений и масштабные коэффициенты, вычисляется с помощью формулы (2).

$$ODG = b_{\min} + (b_{\max} - b_{\min}) \cdot \text{sig}(DI) \quad (2)$$

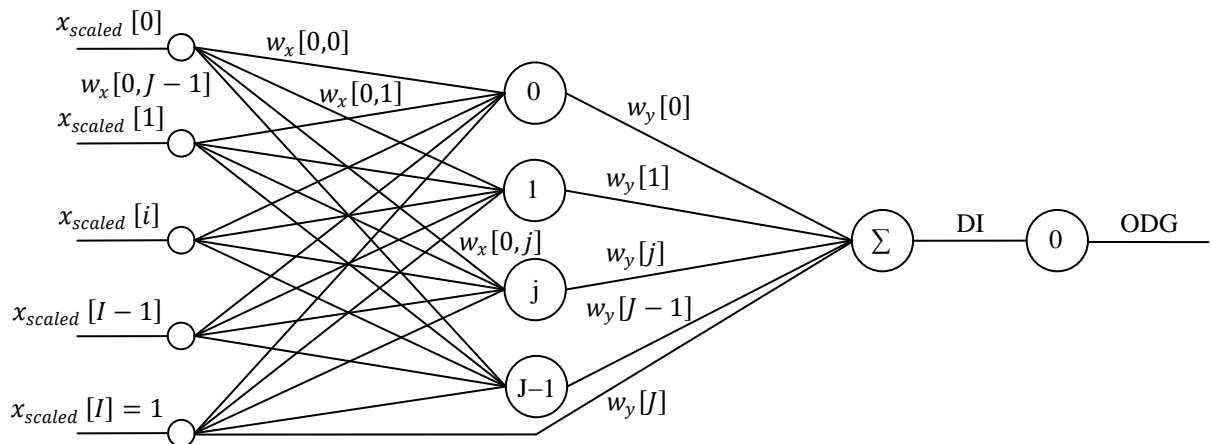


Рис. 3. Структура искусственной нейронной сети

Более подробно с алгоритмами перцепционных методов объективной оценки качества можно ознакомиться в учебнике «Аудиотехника» [8].

**Методические указания**  
к выполнению лабораторной работы

**Часть 1. Исследование традиционных методов объективной оценки качества**

Порядок выполнения работы

- 1.1. С помощью программы Adobe Audition получить тональные сигналы следующих частот: 250, 500, 1000, 2000, 4000, 6000, 10000 Гц.

Для создания нового рабочего файла в меню 'File' выбрать пункт 'New' (или нажать на клавиатуре Ctrl+N), в открывшемся диалоговом окне 'New Waveform' (рисунок 4) выбрать частоту дискретизации ('Sample Rate') 48000 Гц, количество каналов ('Channels') – стерео ('Stereo'), разрешение ('Resolution') 16 бит/отсчет ('16-bit').

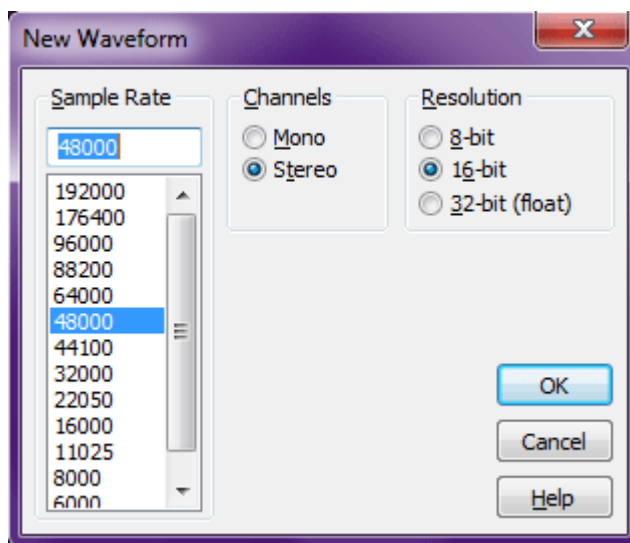


Рис. 4. Диалоговое окно 'New Waveform'

Для создания тонального сигнала в меню 'Generate' (Сгенерировать) необходимо выбрать пункт 'Tones' (Тоны), в графе 'Base Frequency' (Частота) ввести значение необходимой частоты тона, например 250 Гц, в графе 'Duration' (Длительность) ввести значение длительности создаваемого сигнала, например, 10 с (рисунок 5).

Созданные тональные сигналы можно сохранить в формате 'Windows PCM' (\*.wav) для удобства последующего использования и обработки. Рекомендуется сохранить файлы в отдельную папку, например 'SAMPLES OQM'; в имени файла рекомендуется указывать значение частоты тонального сигнала, например '250Hz.wav'.

- 1.2. Получить графики спектра для полученных в пункте 1.1 тональных сигналов и ознакомиться с ними.

Для этого в меню 'Window' (Окно) необходимо выбрать пункт 'Frequency Analysis' (Частотный анализ) (или нажать на клавиатуре Alt+Z). Открывшееся окно удобно разместить в виде закладки рядом с основным окном ('Main'). Шкала частот может быть отображена как в линейном виде (если установлена галочка 'Linear View' (Линейный вид)), так и в логарифмическом (если снята галочка 'Linear View'). Для получения графика спектра всего исследуемого сигнала необходимо в основном

окне выделить весь сигнал (нажать на клавиатуре Ctrl+A), затем, перейдя в окно *'Frequency Analysis'*, нажать кнопку *'Scan Selection'* (Сканировать выделенную область). Для перехода в расширенный режим нажать кнопку *'Advanced'* (справа под полем для графика). В графе оконных функций выбрать для расчета спектра функцию Блэкмена-Харриса (*'Blackman-Harris'*).

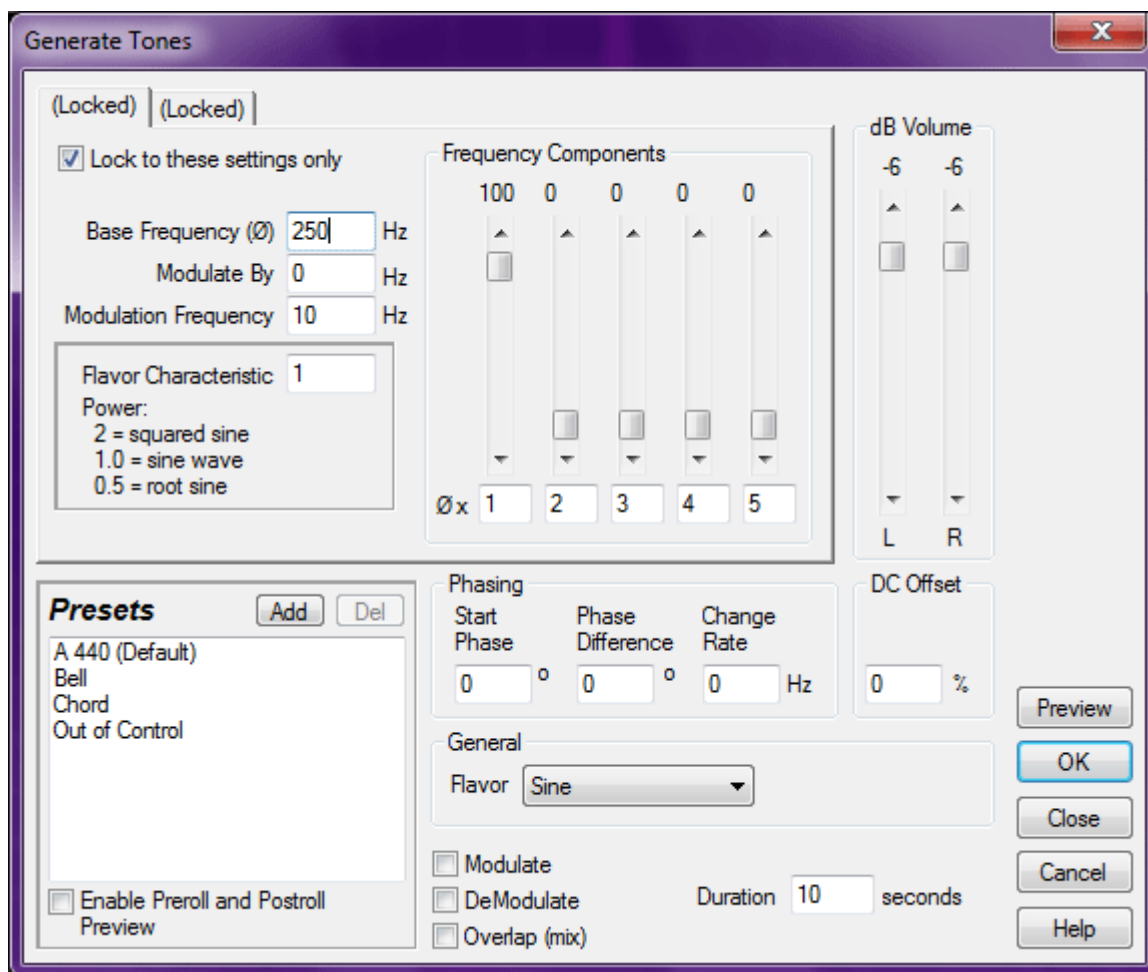


Рис. 5. Диалоговое окно *'Generate Tones'*

- 1.3. Измерить максимальный уровень полученных в пункте 1.1 тональных сигналов:

Для этого в меню *'Window'* выбрать пункт *'Amplitude Statistics'* (Статистика амплитуды). В открывшемся диалоговом окне (рисунок 6) значение графы *'Peak Amplitude'* (Пиковая амплитуда) необходимо зафиксировать в таблице №1 протокола в графе *'Максимальный уровень сигнала: эталонный сигнал'*.

- 1.4. С помощью программы Adobe Audition полученные в пункте 1.1 тональные сигналы подвергнуть компрессии по стандарту MPEG-1 ISO/IEC 11172-3 Layer 3 (MP3) для трех значений скорости цифрового потока: 32 кбит/с, 96 кбит/с и 128 кбит/с.

Для реализации процедуры компрессии следует выполнить следующие действия:

- в меню *'File'* выбрать пункт *'Batch Processing...'* (Пакетная обработка);
- в закладке *'1. Files'* (Файлы) выбрать файлы для обработки, нажав на кнопку *'Add Files...'* (Добавить файлы): в открывшемся диалоговом окне выбрать все полученные и сохраненные в пункте 1.1 сигналы в формате \*.wav (рисунок 7);

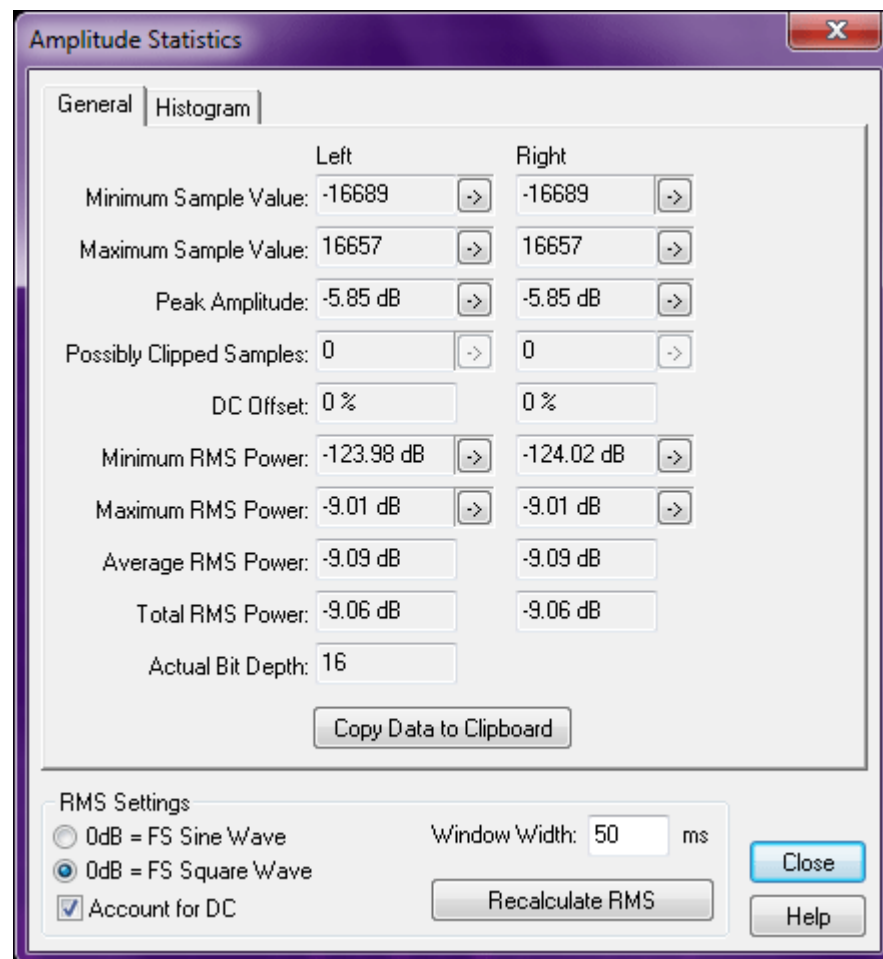


Рис. 6. Диалоговое окно 'Amplitude Statistics'

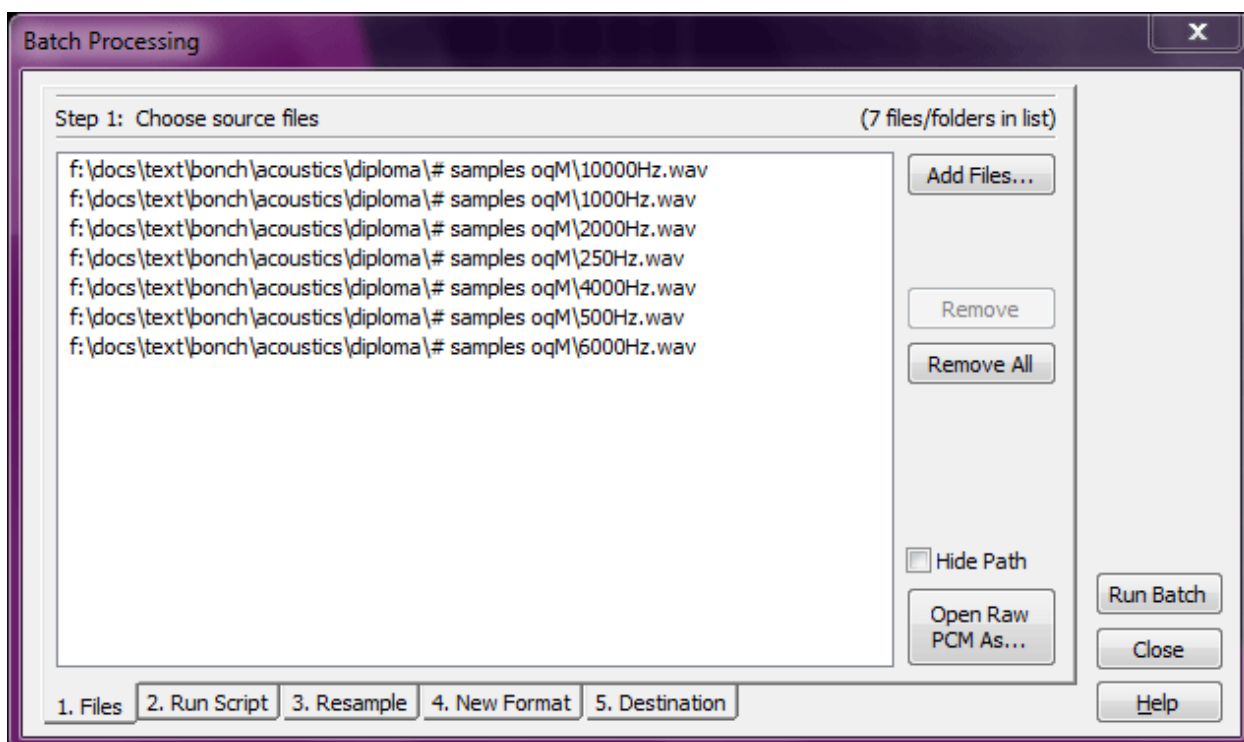


Рис. 7. Диалоговое окно 'Batch Processing: 1. Files'



- в закладке ‘4. New Format’ (4. Новый формат) в графе ‘Output format’ выбрать формат ‘mp3PRO® (FhG) (\*.mp3)’ (рисунок 8);
- нажать кнопку ‘Format Properties’ (Свойства формата). В открывшемся диалоговом окне ‘MP3/mp3PRO® Encoder Options’ (рисунок 9) перейти в расширенный режим с помощью кнопки ‘Advanced’; установить постоянную скорость цифрового потока (‘CBR – Constant Bitrate’); в графе ‘CBR Bitrate’ ввести скорость цифрового потока, например, равную 32 кбит/с; установить частоту дискретизации (‘Sample Rate’) равную 48000 Гц; максимальную ширину полосы частот сигнала (‘Maximum Bandwidth’) равную 20000 Гц; нажать ‘Ok’;
- в закладке ‘5. Destination’ (5. Завершение) (рисунок 10) выбрать пункт ‘Same as file’s source folder’ (Та же, что для исходного файла) для сохранения полученных сигналов в ту же папку, что и исходные сигналы. В графе ‘Output filename template’ ввести желаемый шаблон имени выходного файла: имя исходного файла в шаблоне обозначается символом ‘\*’; рекомендуется в шаблоне указать значение скорости цифрового потока для данной серии формируемых файлов, например, ‘32kbps\_\*.mp3’;
- нажать кнопку ‘Run Batch’ для выполнения обработки файлов;
- после завершения процесса обработки файлов следует повторить вышеуказанные действия для оставшихся значений скорости цифрового потока: 96 и 128 кбит/с.

Для реализации процедуры компрессии одного сигнала можно воспользоваться действием ‘Save As...’ (Сохранить как.. (Ctrl+Shift+S)), где следует установить свойства формата MP3 аналогично случаю пакетной обработки.

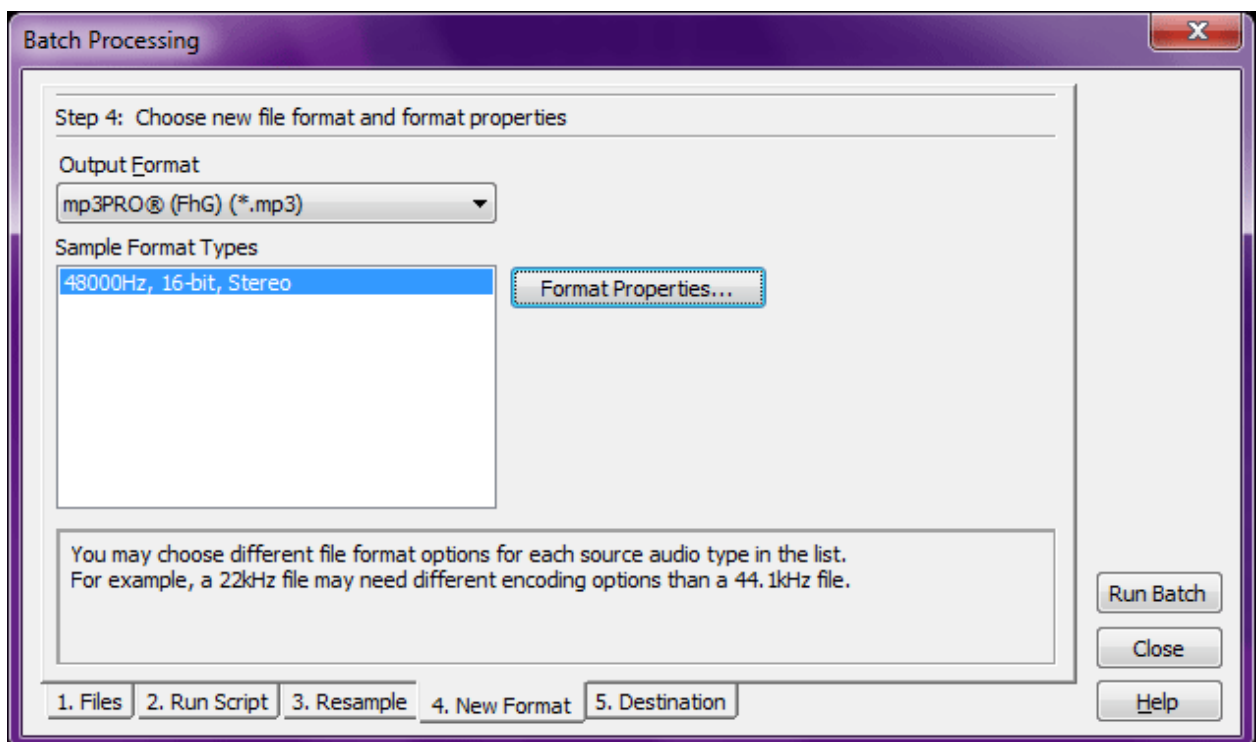


Рис. 8. Диалоговое окно ‘Batch Processing: 4. New Format’

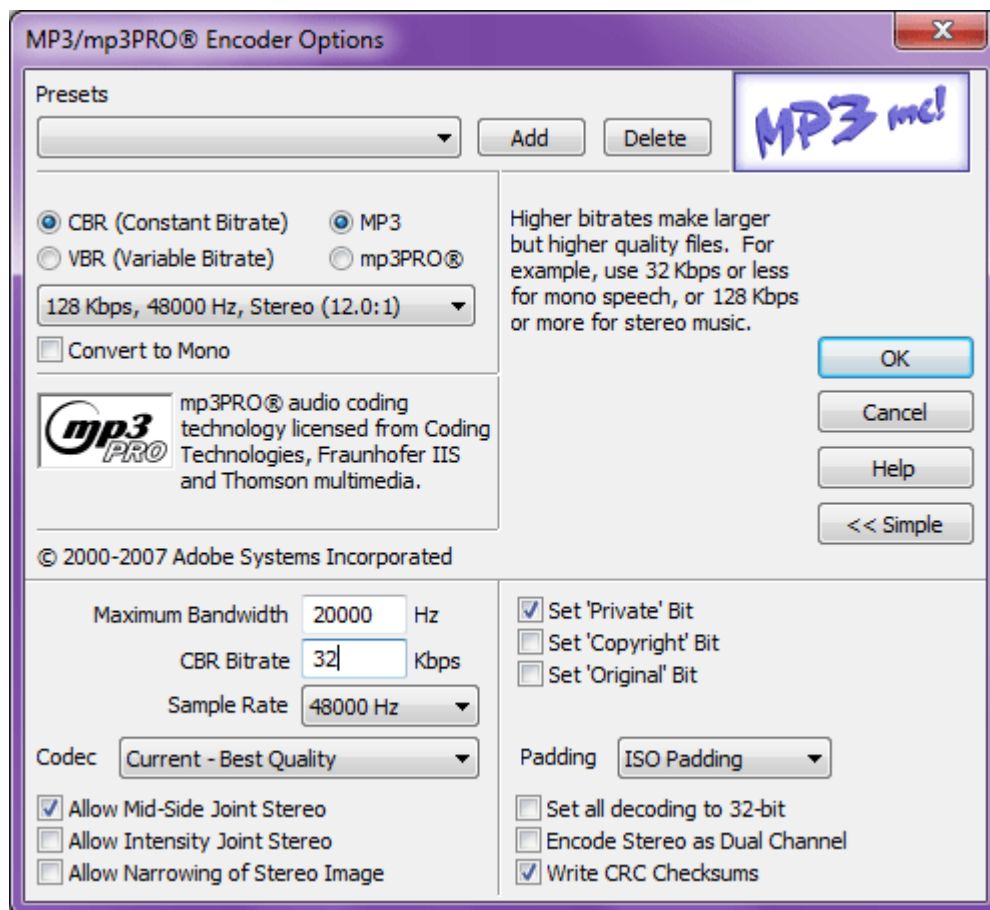


Рис. 9. Диалоговое окно 'MP3/mp3PRO® Encoder Options'

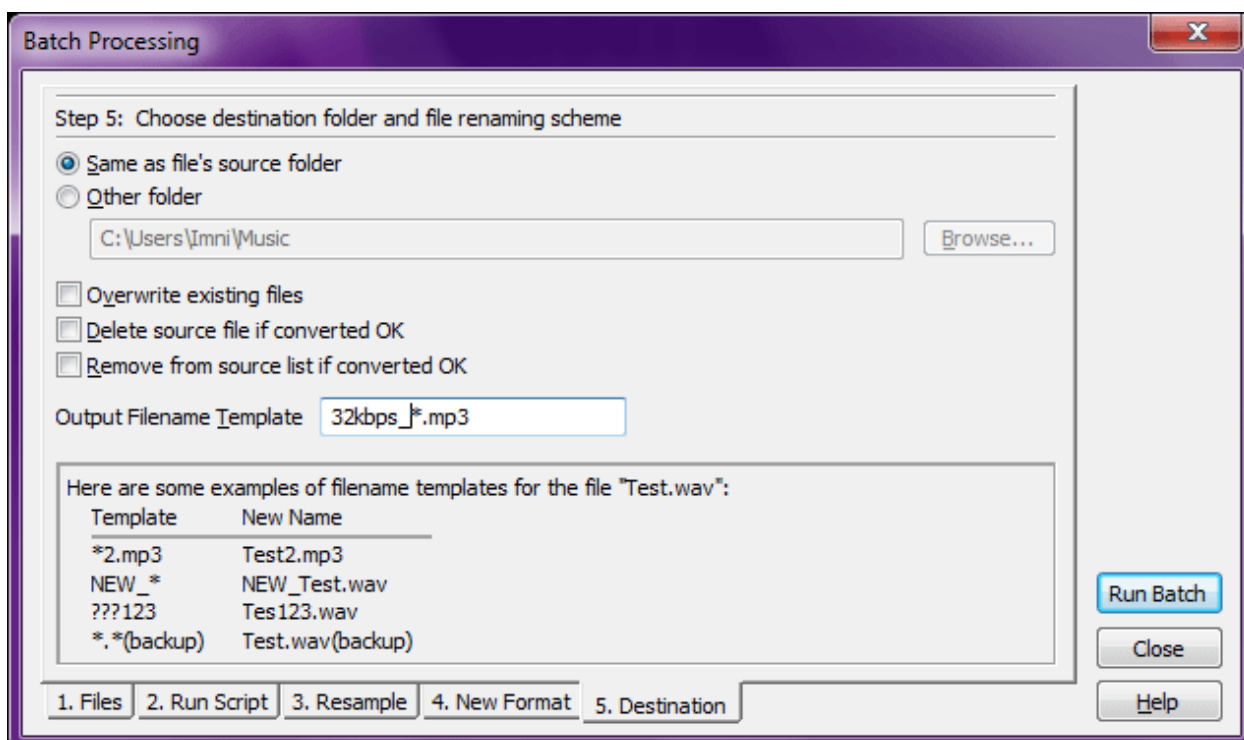


Рис. 10. Диалоговое окно 'Batch Processing: 5. Destination'

1.5. Открыть полученные в пункте 1.4 файлы (\*.mp3).

Получить для каждого файла графики спектра (см. пункт 1.2) и ознакомиться с ними. Измерить максимальный уровень сигналов (см. пункт 1.3), результаты занести в таблицу 1 протокола в графы 'Максимальный уровень сигнала: исследуемый сигнал'.

## **Часть 2. Исследование методов субъективной оценки качества**

### **Порядок выполнения работы**

2.1. Каждому студенту необходимо получить у преподавателя вариант задания на проведение субъективных испытаний:

- жанр музыкального отрывка;
- номер испытания для указанного жанра (от 1 до 16).

В соответствии с указанным вариантом задания в папке 'SAMPLES SQM' выбрать папку, соответствующую заданному жанру:

- программно-синтезированный музыкальный отрывок ('1 ableton');
- классическая музыка ('2 classic');
- популярная музыка ('3 popular');
- джазовая музыка ('4 jazz');

далее в этой папке выбрать папку, соответствующую номеру испытания (от 1 до 16).

2.2. В каждом варианте содержится десять папок под порядковыми номерами от xx\_01 до xx\_10 (где xx – заданный номер испытания). В каждой из них содержится по два файла формата \*.wav под условными порядковыми номерами 01 и 02. Один из этих файлов представляет собой эталонный сигнал, второй – исследуемый сигнал, прошедший процедуру компрессии с определенным установленным значением скорости цифрового потока из исследуемого ряда: 24, 32, 48, 64, 96, 112, 128, 192, 256, 320 кбит/с. Значения скорости цифрового потока расположены среди 10 исследуемых пар сигналов в произвольном порядке и могут быть получены у преподавателя после выполнения работы.

С помощью программы для прослушивания аудиофайлов (например, Windows Media Player) каждому студенту необходимо выполнить процедуру парного прослушивания для всех пар сигналов. Прослушивание отрывков из одной пары необходимо проводить с перерывом в 1-2 с. Рекомендуемый уровень прослушивания музыкальных отрывков при проведении испытаний, в соответствии с рекомендациями для звукорежиссеров, составляет 94–96 дБ.

При проведении прослушивания для оценки различия в звучании пары сигналов необходимо пользоваться пятибалльной шкалой градаций ухудшения качества звучания одного сигнала по сравнению с другим (SDG – 'Subjective Difference Grade' (субъективная оценка различия)):

- 0 – незаметная разница;
- минус 1 – заметная, но не раздражающая разница;
- минус 2 – слегка раздражающая разница;
- минус 3 – раздражающая разница;
- минус 4 – очень раздражающая разница.

Результаты следует занести в соответствующие графы таблицы 2 протокола.

После выполнения испытаний получите у преподавателя расшифровку значения скорости цифрового потока в соответствии с вашим вариантом.

### Часть 3. Исследование субъективно-статистической экспертизы

Для получения результатов субъективно-статистической экспертизы необходимо собрать полученный во время лабораторной работы статистический материал, т.е. результаты индивидуальных субъективных испытаний, выполненные каждым студентом. Полученный статистический материал необходимо занести в таблицу 3 протокола для выполнения их последующего усреднения.

### Часть 4. Исследование перцепционного метода объективной оценки качества

Порядок выполнения работы

4.1. Запустить программу PEAQ Wizard (исполняемый файл 'PEAQ\_Wizard.exe').

При запуске программы появляется окно «Шаг 1 из 4: Знакомство», изображенное на рисунке 11:

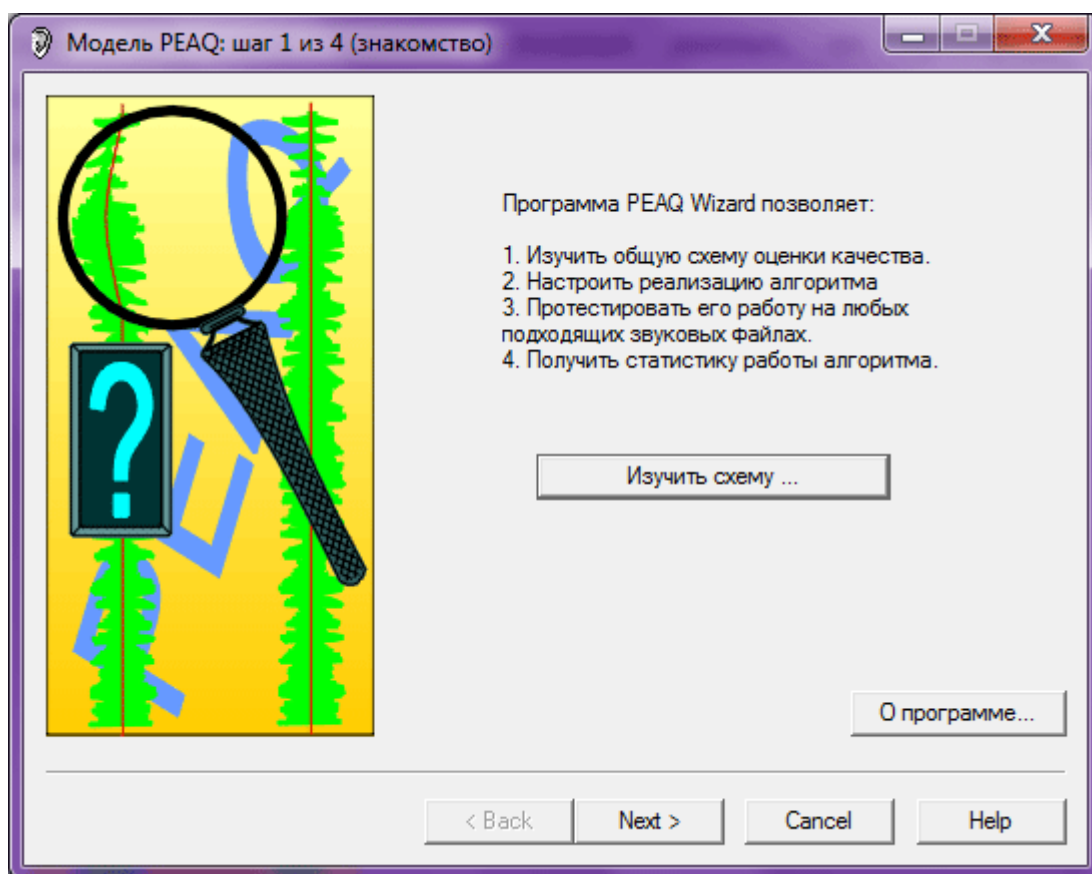


Рисунок 11. Модель PEAQ. Шаг 1 из 4: Знакомство

Для просмотра общей схемы организации измерений (рисунок 12) следует нажать кнопку «Изучить схему»; для просмотра информации о программе (рисунок 13) – кнопку «О программе...».



Рисунок 12. Схема организации измерений PEAQ Wizard

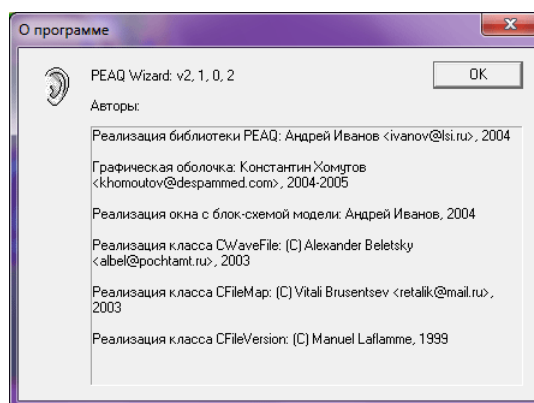


Рис. 13. Информация о программе 'PEAQ Wizard'

После ознакомления с программой нажать кнопку «Далее» для перехода к следующему шагу.

- 4.2. В открывшемся диалоговом окне «Шаг 2 из 4: Выбор входных сигналов» (рисунок 14) осуществляется выбор входных сигналов. Для исследования с помощью ПМООК необходимо использовать музыкальный отрывок того же жанра, что и при выполнении индивидуальных субъективных испытаний. В папке '*SAMPLES PEAQ WIZARD*' содержатся четыре папки с испытательными сигналами разных жанров ('1 *ableton*', '2 *classic*', '3 *popular*', '4 *jazz*'). Из соответствующей папки необходимо выбрать файлы, содержащие эталонный и исследуемый сигнал (например, для случая исследования классической музыки).

- файл с эталонным сигналом – '*00\_classic\_original.wav*';
- файл с исследуемым сигналом – например, '*01\_classic\_24kbps.wav*'.

Нажать кнопку «Далее» для перехода к следующему шагу.

- 4.3. В открывшемся окне «Шаг 3 из 4. Настройки и расчёт» (рисунок 15) можно внести некоторые изменения в установленные по умолчанию настройки ПОК.

Для изменения настроек нажать кнопку «Настройки...»; в диалоговом окне «*Параметры алгоритма ПМООК*» можно изменить:

- уровень воспроизведения (от 0 до 92 дБ);
- размер буферов, используемых для передачи входных сигналов в функцию, производящую расчет.

Значениями по умолчанию этих величин являются уровень воспроизведения 92 дБ (максимальное значение; рекомендуемый уровень прослушивания музыкальных программ в студии, в соответствии с рекомендациями для звукорежиссеров, составляет 94–96 дБ), размер буфера 2048 отсчетов (размер одного фрейма).

Нажать кнопку «Старт» для начала расчёта оценки качества (рисунок 16). Расчет можно приостановить, нажав кнопку «Стоп». После приостановки вычислений можно прервать расчёт или продолжить его.

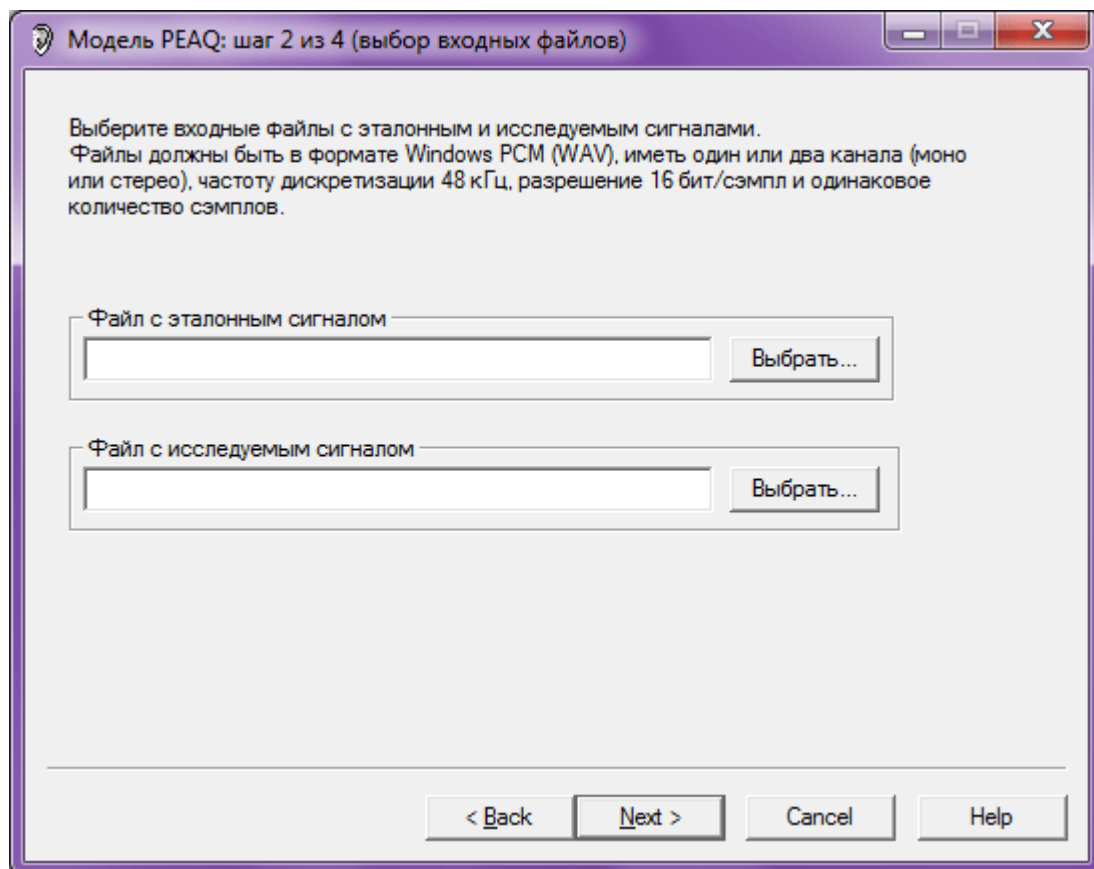


Рисунок 14. Модель PEAQ. Шаг 2 из 4: Выбор входных сигналов

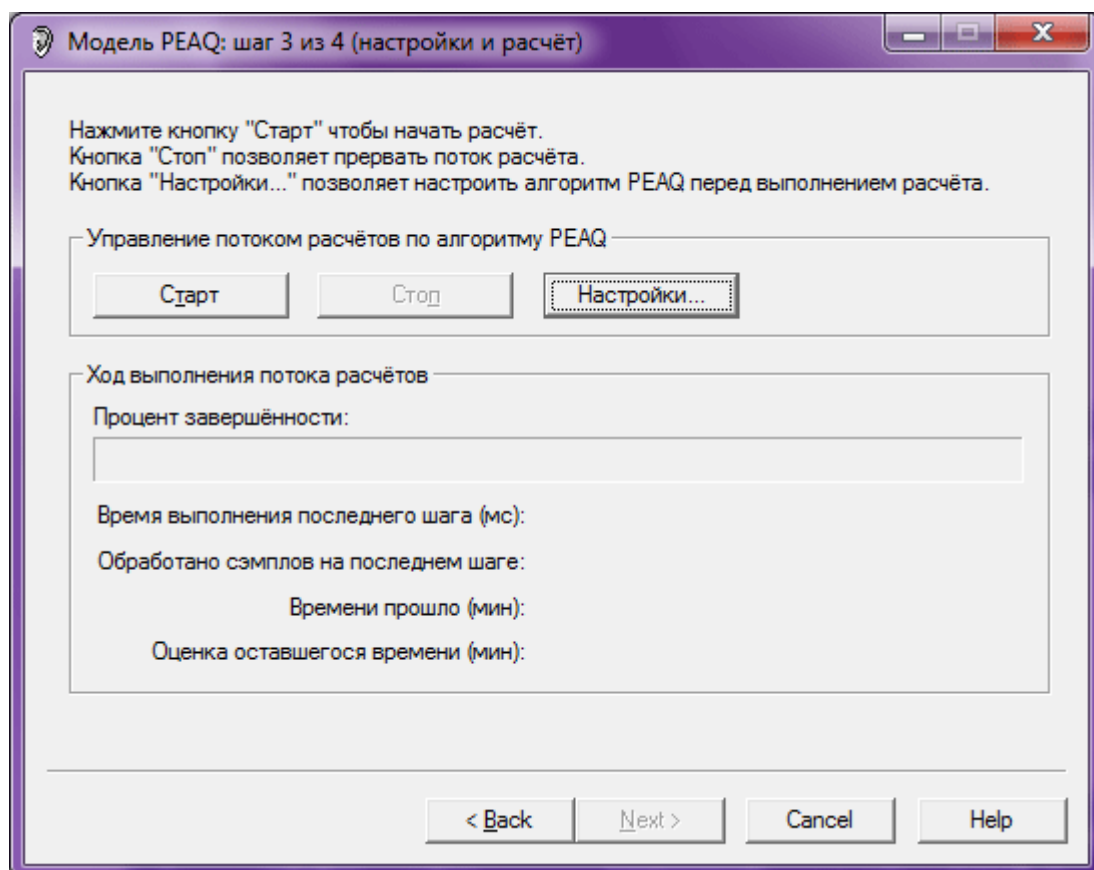


Рисунок 15. Модель PEAQ. Шаг 3 из 4: Настройки и расчет

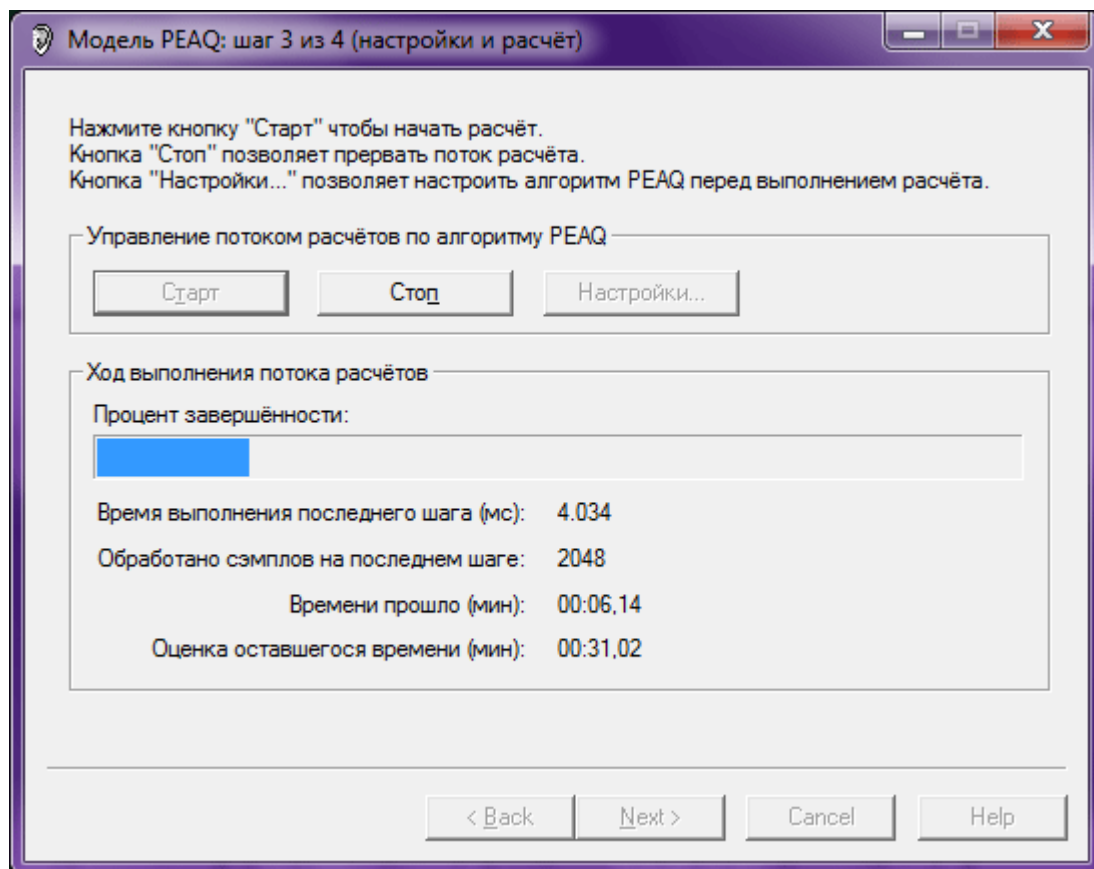


Рисунок 16. Ход процесса вычисления оценки качества

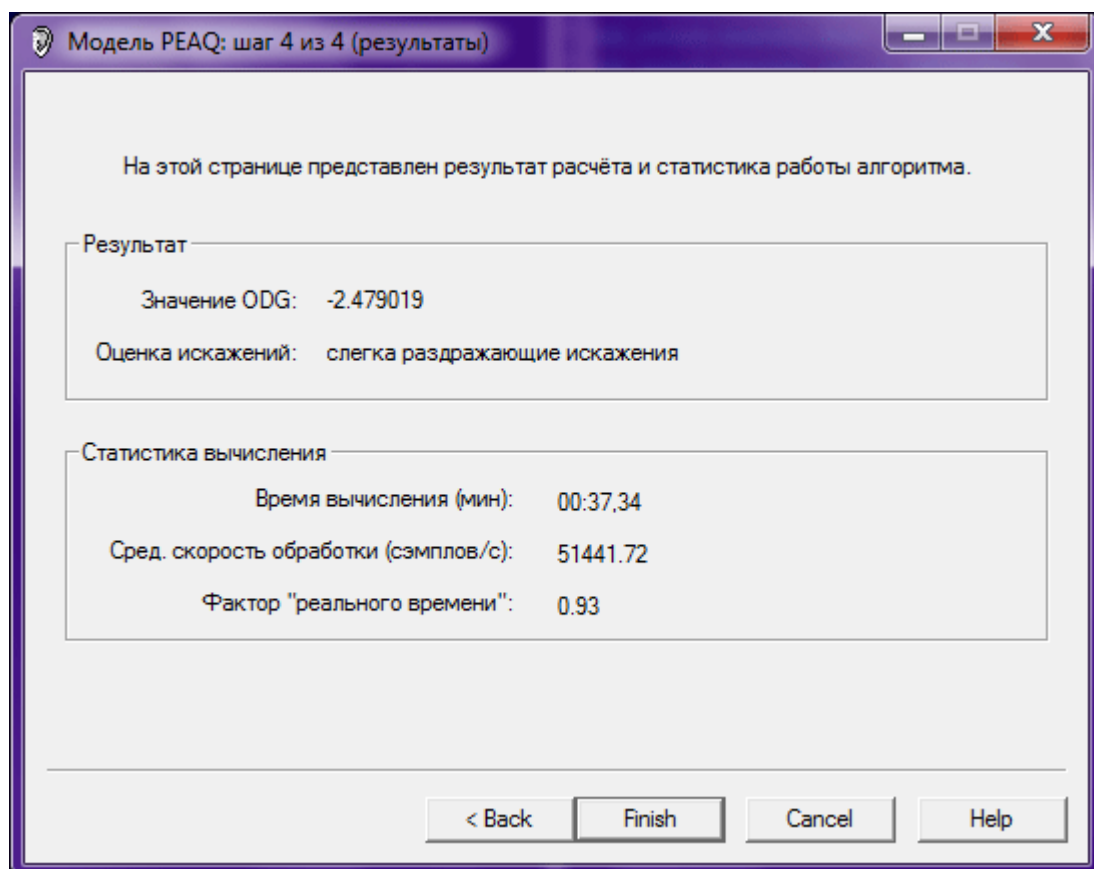


Рисунок 17. Модель PEAQ. Шаг 4 из 4: Результаты

- 4.4. После окончания вычислений ПОК выдаст диалоговое окно «Шаг 4 из 4: Результаты» (рисунок 17), в котором будет отображена объективная оценка качества («Значение ODG»), её словесное описание («Оценка искажений») и ряд дополнительных величин, характеризующих скорость вычислений.

Значение ODG и словесное описание оценки искажений занести в таблицу 4 протокола.

После ознакомления с результатами вычислений можно вернуться к любому из предыдущих шагов (кнопка «Назад») или же закончить работу с программой (кнопка «Готово»).

- 4.5. Повторить процедуру оценки качества с помощью программы PEAQ Wizard (см. пункты 4.3 и 4.4) для остальных исследуемых файлов, прошедших компрессию с другими установленными значениями скорости цифрового потока. Результаты испытаний занести в таблицу 5 протокола.

### **Методические указания по подготовке отчета к лабораторной работе**

#### **Часть 1. Обработка результатов исследования традиционных МООК**

- 1.1. По результатам измерений максимального уровня эталонных и исследуемых сигналов построить графики зависимости уровня сигнала от частоты. Сделать выводы о том, каким образом проявляется влияние компрессии на тональные сигналы, их уровень и полосу частот.
- 1.2. Рассчитать отклонение амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) исследуемых сигналов по формуле (3) [1]:

$$\Delta S = N_f - N_{1000 \text{ Гц}} \quad (3)$$

где  $N_f$  – уровень сигнала на частоте  $f$ ;  $N_{1000 \text{ Гц}}$  – уровень сигнала на частоте 1000 Гц.

Результаты расчета занести в таблицу 1 отчета. Привести пример расчета отклонения АЧХ.

Полученные значения отклонения АЧХ сравнить с допусками, нормированными [1] для тональных сигналов. Значения, полученные для исследуемого кодека MPEG-1 ISO/IEC 11172-3 Layer 3 (MP3) следует сравнить с нормами допуска для тракта формирования программ (ТФП). Значение отклонения АЧХ для ТФП должно находиться в пределах  $\pm 0.5$  дБ для диапазона частот 125-10000 Гц.

- 1.3. После проведения расчетов сделать выводы об эффективности традиционной методики объективной оценки качества. Выводы занести в отчет.

#### **Часть 2 и 3. Обработка результатов индивидуальных субъективных испытаний и субъективно-статистической экспертизы**

- 2.1. Для получения результатов ССЭ рассчитать среднее значение субъективной оценки различия на основании данных таблицы 3 протокола (отчета) для всех исследуемых значений скорости цифрового потока.

Для этого сначала из полученного ряда оценок отбросить крайние значения:



- для случая, когда в испытаниях принимают участие 4-6 слушателей, следует отбросить максимальную и минимальную из полученных оценок;
- для случая, когда в испытаниях принимают участие 10 и более слушателей, следует отбросить по 2-3 наименьших и наибольших оценок (в зависимости от общего количества оценок).

Для оставшихся значений рассчитать среднее арифметическое значение по формуле (4):

$$\tilde{m} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4)$$

где:  $x_i$  – субъективная оценка отдельного слушателя;  $n$  – количество оценок;  $\tilde{m}$  – среднее арифметическое значение оценки.

- 2.2. Для полученного усредненного значения рассчитать среднее квадратическое отклонение  $\sigma_{\tilde{m}}$  по формуле (5), где  $\tilde{D}$  – дисперсия, рассчитываемая по формуле (6) [56]:

$$\sigma_{\tilde{m}} = \sqrt{\frac{\tilde{D}}{n}} \quad (5)$$

$$\tilde{D} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{m})^2}{n - 1} \quad (6)$$

- 2.3. Принимаем гипотезу, что распределение статистического материала является нормальным. Тогда, задавшись доверительной вероятностью  $\beta = 0.9$ , из [9] получаем значение величины  $t_\beta = 1.643$ . Величина  $t_\beta$  определяет для нормального закона число средних квадратических отклонений, которое нужно отложить вправо и влево от центра рассеивания для того, чтобы вероятность попадания в полученный участок была равна  $\beta$ .

Тогда для исследуемого статистического материала можно рассчитать доверительный интервал по формуле (7) [9]:

$$I_\beta = (\tilde{m} - t_\beta \cdot \sigma_{\tilde{m}}; \tilde{m} + t_\beta \cdot \sigma_{\tilde{m}}) \quad (7)$$

Следовательно, для каждого исследуемого значения скорости цифрового потока будет получен доверительный интервал, в который с вероятностью 0.9 будут попадать значения субъективных оценок различия, получаемых при проведении ССЭ.

Результаты расчета занести в таблицу 4 отчета. Привести в отчете пример расчета всех указанных величин в соответствии с формулами (4) – (7).

- 2.4. На основании полученных результатов построить график зависимости субъективной оценки различия (SDG) от скорости цифрового потока исследуемых сигналов. На графике также отметить границы доверительного интервала.
- 2.5. Сделать вывод об эффективности ССЭ для получения достоверной оценки качества звуковых сигналов. Вывод занести в отчет.

#### **Часть 4. Обработка результатов исследования ПМООК**

- 3.1. На основании значений объективной оценки различия, полученных с помощью программы PEAQ Wizard (таблица 4 протокола; таблица 5 отчета), построить график зависимости субъективной оценки различия (SDG) от скорости цифрового потока исследуемых сигналов.
- 3.2. Сделать вывод об эффективности изученного ПМООК для оценки качества звучания аудиосигналов.

#### **Часть 5. Сравнение результатов испытаний**

- 4.1. Сравнить значения объективной оценки различия (ODG), полученные с помощью ПМООК, со значением субъективной оценки различия (SDG), полученными в ходе проведения ССЭ. На основании соответствия или различия оценок, полученных двумя методами, необходимо сделать вывод об эффективности ПМООК при оценке качества звуковых сигналов, и о возможности проведения измерений в соответствии с ПМООК в тех случаях, когда проведение ССЭ невозможно. Выводы занести в отчет.
- 4.2. Сравнить результаты, полученные в первой части работы с помощью традиционных МООК для значений скорости цифрового потока 32, 96 и 128 кбит/с, со значениями субъективных оценок различия (SDG), полученными в ходе проведения ССЭ для этих же значений скорости цифрового потока. На основании этих оценок сделать вывод об эффективности МООК по ГОСТ-Р 52742-2007 [1] при оценке качества сигналов, которые были подвержены сжатию с использованием алгоритма MPEG-1 ISO/IEC 11172-3 Layer 3 (MP3), и о возможности применения данного метода на практике для оперативных измерений качества реальных звуковых сигналов, переданных по каналам связи с использованием данного типа кодека. Выводы занести в отчет.

#### **Список использованных источников**

1. ГОСТ-Р 52742-2007. Каналы и тракты звукового вещания. Типовые структуры. Основные параметры качества. Методы измерений. 2007.
2. Электроакустика и звуковое вещание: Учебное пособие для ВУЗов / И.А.Алдошина, Э.И.Вологдин, А.П.Ефимов и др.; Под ред. Ю.А.Ковалгина. - М.: Горячая линия-Телеком, Радио и связь, 2007. - 872 с.: ил.
3. ОСТ 4.202.003-84 Методы экспертной оценки качества звучания. - М.: Стандарты. 1984.
4. IEC 268-5, Part-B Sound System Equipments "Listening tests on loudspeakers", 1985.
5. AES-20-1996 "AES Recommended practice for professional audio-subjective evaluation of Loudspeaker". - N.Y. 1996.
6. ITU-R Recommendation BS.1116-1, Methods for subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems, 1997.
7. ITU-R Recommendation BS.1387-1. Method for objective measurements of perceived audio quality, 1998-2001.
8. Аудиотехника: Учебное пособие для ВУЗов/ Ю.А.Ковалгин, Э.И.Вологдин. - М., 2011.
9. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1964.