

УДК 725.8

Розоринов Г.Н., д.т.н. (Государст. унив-т информационно-коммуникационных технологий)

ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ ВРЕМЕНИ РЕВЕРБЕРАЦИИ ПОМЕЩЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Розорінов Г.М. Експрес-аналіз часу реверберації приміщень з використанням цифрових технологій. Запропонований простий метод вимірювання часу реверберації приміщення за допомогою пакетів прикладних програм Sound Forge і Cool Edit Pro. Показано, що такий метод не вимагає використання громіздкої апаратури і придатний для експрес-аналізу часу реверберації.

Ключові слова: ЕКСПРЕС-АНАЛІЗ, БІЛИЙ ШУМ, РЕВЕРБЕРАЦІЯ, ЗВУКОВИЙ ТИСК

Розоринов Г.Н. Экспресс-анализ времени реверберации помещений с использованием цифровых технологий. Предложен простой метод измерения времени реверберации помещения с помощью пакетов прикладных программ Sound Forge и Cool Edit Pro. Показано, что такой метод не требует использования громоздкой аппаратуры и пригоден для экспресс-анализа времени реверберации.

Ключевые слова: ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ, БЕЛЫЙ ШУМ, РЕВЕРБЕРАЦИЯ, ЗВУКОВОЕ ДАВЛЕНИЕ

Rozorinov H.M. Express-analysis of reverberation time for apartments with the use of digital technologies. Simple method of reverberation time measuring of apartment by the application package Sound Forge and Cool Edit Pro is offered. It is noticed that such method does not require the use of bulky apparatus and suitable for the express-analysis of reverberation time.

Keywords: EXPRESS-ANALYSIS, WHITE NOISE, REVERBERATION, VOICE PRESSURE

Введение. Время реверберации (ВР) помещения – один из наиболее информативных параметров, определяющий акустические свойства помещения. Вместе с этим, ВР один из самых неоднозначных акустических параметров помещения. Это связано с тем, что ВР:

– определяется размерами помещения, его объемом и площадью ограничивающих поверхностей;

– частотно-зависимый параметр и его значение не постоянно на разных частотах звукового диапазона и получить требуемую, например, линейную частотную характеристику ВР невозможно, так как любые звукопоглощающие материалы имеют частотно зависящие свойства;

– зависит от жанра программы, воспроизводимой в помещении. Известно, что для речевых и музыкальных программ ВР и их частотные свойства разные. Вместе с тем, ВР, как оптимальное значение для разных программ, имеет эмпирический характер;

– в некоторой степени субъективный параметр и его оптимальное значение определяется психологическим состоянием как исполнителя, так и слушателя.

Вопросам измерения ВР посвящено немало работ [1...4]. В основном они описывают те или иные особенности измерения ВР. Однако, эти методы претендуют либо на высокоточные результаты измерений, что требует достаточно громоздкой аппаратуры и длительной подготовки, либо упрощения измерений, используя слуховое восприятие реверберационного процесса. Вместе с этим в этих работах не отражены возможности измерения ВР в “полевых” условиях, используя минимальное оборудование и подручные средства.

Целью данной работы является разработка экспресс-метода измерения ВР помещения с помощью современных цифровых технологий, который не требует использования специализированного громоздкого оборудования, но обеспечивает высокие для практики точность и скорость измерений.

Основная часть. По определению ВР – это время, в течение которого уровень звукового сигнала (уровень звукового давления) уменьшается на 60 дБ после отключения источника звука – стандартное ВР [2].

Процесс измерения ВР имеет ряд особенностей. Так как оптимальное ВР зависит от частоты, то, чтобы определить акустические параметры помещения, измерение ВР необходимо производить в различных полосах спектра звуковых частот.

Звуковое поле в помещении не является полностью диффузным, поэтому для измерения ВР нельзя использовать чистые тона. В таком случае в помещении могут возникнуть стоячие волны, и результаты измерений будут существенно отличаться от реальных. Эффективным

сигналом для измерения ВР является шумоподобный сигнал с широким спектром, например, “белый” или “розовый” шум. В качестве измерительного сигнала рационально использовать частотно-модулированный сигнал (“воющий” тон) или короткие импульсные сигналы с широким спектром, например, выстрелы стартового пистолета (эти сигналы могут храниться в запоминающем устройстве).

Для измерения частотной характеристики ВР обычно используются полосовые фильтры с шириной полосы не более октавы. Результаты измерений относят к среднегеометрической частоте фильтра. Среднегеометрические частоты октавных полос стандартизированы и равны 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. На выходе микрофонного усилителя с помощью полосовых фильтров выделяется частотная полоса, для которой и определяется ВР.

При измерении ВР в помещениях, где оно определяет качественные показатели звуковоспроизведения (театры, концертные залы и др.) громкоговорители устанавливаются в центре предполагаемого размещения исполнителей. В качестве излучателей применяют ненаправленные громкоговорители. Создаваемые в помещении уровни звукового давления должны быть около 100...120 дБ, чтобы зарегистрировать перепад звукового давления на 60 дБ или хотя бы на 30 дБ.

Если бы поле в помещении было диффузным, то достаточно было бы найти временную задержку, при которой уровень сигнала снизится на 60 дБ (это и было бы временем стандартной реверберации). Но так как звуковое поле в той или иной степени отличается от диффузного, то измеряется перепад уровней для нескольких значений временной задержки и усредняются полученные результаты или же строится кривая затухания уровней по измеренным перепадам и затем графически определяется время стандартной реверберации [3].

Наиболее распространенный способ измерения ВР основан на отображении реверберационного процесса с помощью быстродействующего регистратора уровня. Быстродействующие регистраторы уровня имеют логарифмическую шкалу. Их динамический диапазон стандартизирован (25 – 50 – 75 или 30 – 60 – 90 дБ). Запись ведется чернилами или резцом на красной бумаге, покрытой тальком. Скорость записи, диапазон и постоянная времени могут изменяться скачками в некоторых пределах. Регистраторы уровня обычно подключаются к измерителям звукового давления, поэтому с их помощью можно определять частотные характеристики аппаратуры, характеристики направленности, и др. [2].

В качестве источника звукового сигнала при измерении ВР используется генератор белого шума, а при необходимости определения частотной зависимости ВР используется генератор тональных сигналов с “воющим” тоном (рис. 1).

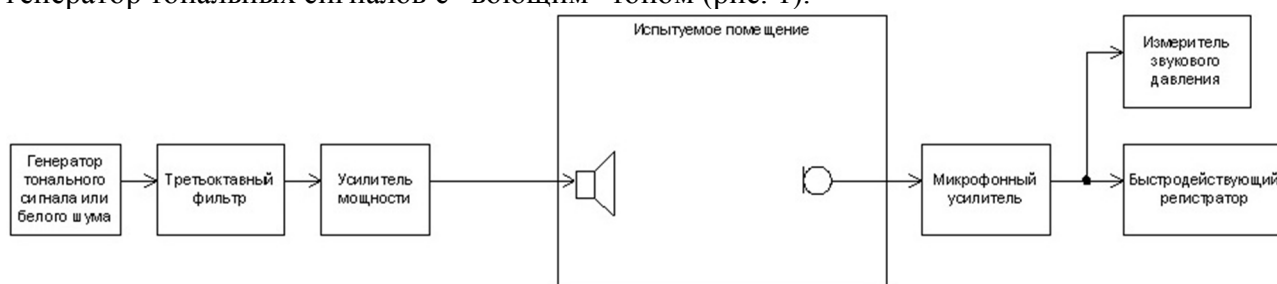


Рис. 1. Структурная схема измерения ВР с помощью быстродействующего регистратора

Тональные сигналы можно получать путем их формирования из белого шума с помощью третьоктавных фильтров. Сигнал генератора усиливается и с помощью громкоговорителя воспроизводится в помещении, после чего принимается микрофоном, который подключен через микрофонный усилитель к быстродействующему регистратору уровня. Регистратор уровня может представлять собой самописец на движущейся бумажной ленте со шкалой уровня по оси Y и шкалой времени по оси X . В тот момент времени $t_{\text{выкл}}$, когда помещение характеризуется установившейся плотностью звуковой энергии, соответствующей уровню L_0 , звук отключается. С этого момента регистратор отображает процесс спада звуковой энергии в виде кривой. Затем по полученному графику определяется ВР (рис. 2).

Измерители звукового давления состоят из измерительного микрофона и соединенного с ним электронного вольтметра, градуированного в Па или дБ относительно 2×10^{-5} Па или 0 дБ. Постоянная времени измерителя звукового давления может изменяться в зависимости от требуемой погрешности и излучаемого сигнала – импульсного, речевого, длительного музыкального.

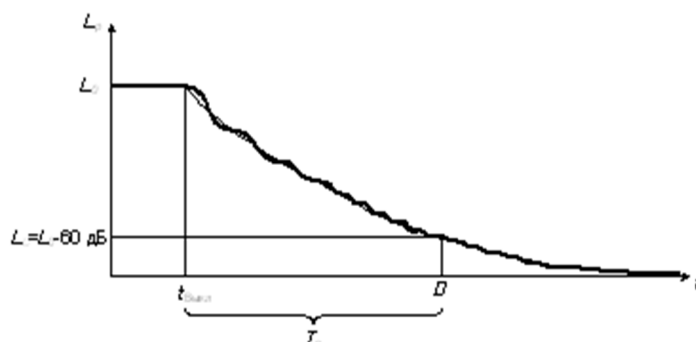


Рис. 2. График вычисления ВР

Другой метод измерения ВР

предполагает использование реверберометра (рис. 3). В общем случае реверберометр представляет собой измерительный ненаправленный микрофон с микрофонным усилителем, электронный вольтметр со шкалой уровня, размеченной в дБ, блок управления с пусковым устройством и реле, которые отключают генератор звука от громкоговорителя и включают измеритель уровня и счетчик времени.

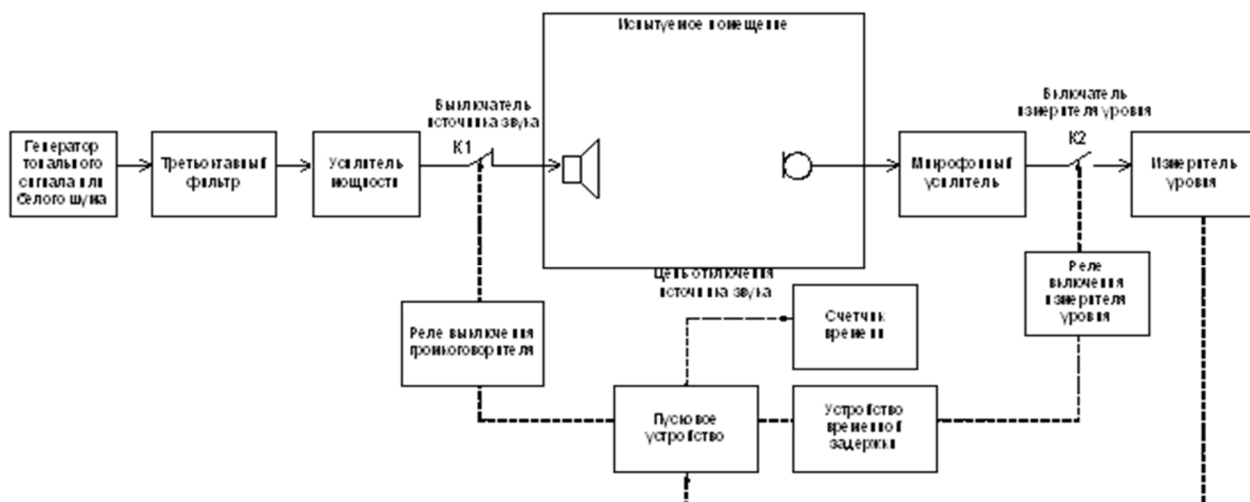


Рис. 3. Структурная схема измерения ВР с помощью реверберометра

В момент выключения источника включается счетчик времени, а после уменьшения уровня сигнала на измерителе на 60 дБ в пусковое устройство подается команда выключения счетчика и на табло счетчика времени отображается время реверберации. Большинство реверберометров имеет устройство временной задержки от нескольких сотых секунды до несколько секунд и индикатор уровня, регистрирующий уровень перед выключением источника звука и через определенное время после его выключения.

Обычно применяют реверберометры интегрального типа. В них происходит интегрирование уровней во времени с момента выключения источника звука (L_0) до достижения заданного порогового уровня L_n .

Иногда в приемный тракт реверберометра включают фильтры и самописец уровня. Лента самописца градуируется по вертикали, как правило, через 5 дБ. Скорость движения пера самописца уровня составляет не менее 300 дБ/с, а скорость движения бумаги подбирается таким образом, чтобы наклон записи спада составлял около 45° . Выбирается не менее 6-8 точек измерения для больших помещений и 2-3 точки для небольших, причем в каждой из этих точек проводится не менее трех измерений в каждой полосе частот. Вначале определяется среднеарифметическое значение для каждой точки, а затем для всего помещения с усреднением по всем точкам измерения [4].

При измерении ВР очень часто возникает проблема обеспечения требуемого превышения максимального сигнала над шумом (60 дБ). Особенно сложно сделать это в

шумных производственных помещениях. В этих случаях приходится уровнеграмму, записанную самописцем, графически экстраполировать до размаха 60 дБ.

Практика измерений показывает, что зачастую наблюдается быстрое затухание звука в начале процесса, за которым следует затухание более медленное, особенно в больших залах. Иногда наблюдаются различные случайные колебания – внезапный подъем или последовательность всплесков. При измерении времени реверберации можно пренебречь флуктуациями записанной кривой и определять только средний ее наклон. В любом случае при наличии флуктуации и выбросов для получения достоверных результатов необходимо увеличивать число точек измерения [3].

За последние годы разработаны цифровые метрологические компьютерные станции, позволяющие измерять различные акустические характеристики помещения, включая и время реверберации. Эти станции повысили точность, скорость измерений и обработки результатов, а также обеспечили возможность измерений в незаглушенных помещениях.

К числу таких станций можно отнести: TEF-20 фирмы Tecron (США), System 1 фирмы Audio Precision, США, MLSSA фирмы DRA Laboratories, США, LMS фирмы Linear-X system, США, АТВ 2.40 фирмы Kirchner Electronik (Германия), СТ-1012 фирмы Audion, Россия и др.

Станции реализованы на компьютерах, укомплектованных специальной звуковой платой, содержащей генератор испытательных сигналов, фильтры, конвертор, входные и выходные усилители. Входные и выходные сигналы станции могут подключаться через аналоговые и цифровые порты. Сбалансированные аналоговые входы и выходы станции обеспечивают возможность измерений при 16 градациях уровней входного сигнала от -35 дБ до +40 дБ через 5 дБ и уровнях выходного сигнала в диапазоне от -38 дБ до +8 дБ с интервалом 1 дБ. Генератор позволяет создавать широкий спектр испытательных сигналов в диапазоне от 10 Гц до 30 кГц с уровнем искажений не более 0,01 %: синусоидальные, треугольные, квадратичные волны, импульс с косинусным заполнением, октавный и 1/3 октавный розовый шум и др. В состав станции входит микрофон с микрофонным усилителем с линейной АЧХ в широком диапазоне частот. Программное обеспечение, реализованное в операционных системах DOS и Windows, предоставляет широкие возможности по обработке, редактированию и графическому представлению результатов измерений.

При помощи цифровых методов можно сформировать динамический или так называемый «кумулятивный» спектр, который дает информацию о структуре сигнала в частотной и временной областях. Трехмерный график, по одной оси которого отложен уровень звукового давления (напряжения, мощности, дБ), по другой - частота, Гц, а по третьей - время, с, характеризует процесс изменения во времени звукового давления (напряжения, мощности) на разных частотах (кумулятивный спектр).

Измерение ВР можно произвести, имея персональный компьютер (ноутбук) с пакетами прикладных программ Sound Forge и Cool Edit Pro, что предусмотрено в описываемом экспресс-методе измерения ВР.

Способ измерения ВР традиционный – шумовой или тональный сигнал подается на громкоговоритель, микрофон принимает сигнал, а уровень принятого сигнала отображается измерительным элементом, в качестве которого используется ПК (рис. 4, 5).

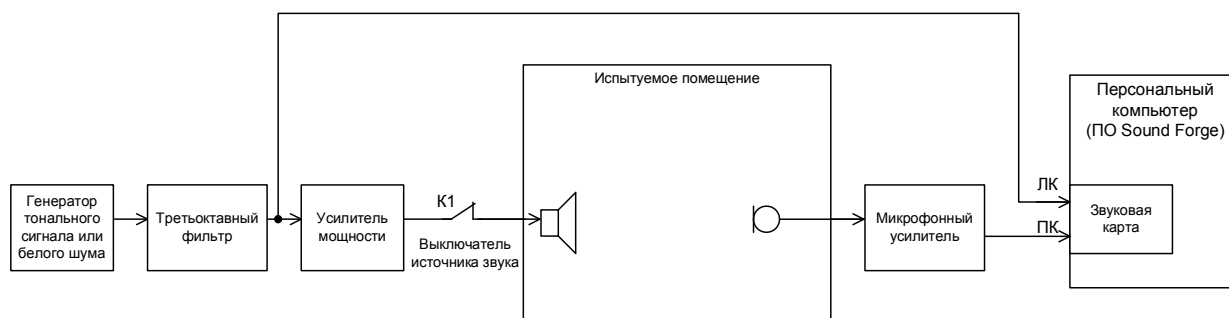


Рис. 4. Структурная схема измерения ВР на базе программного пакета Sound Forge

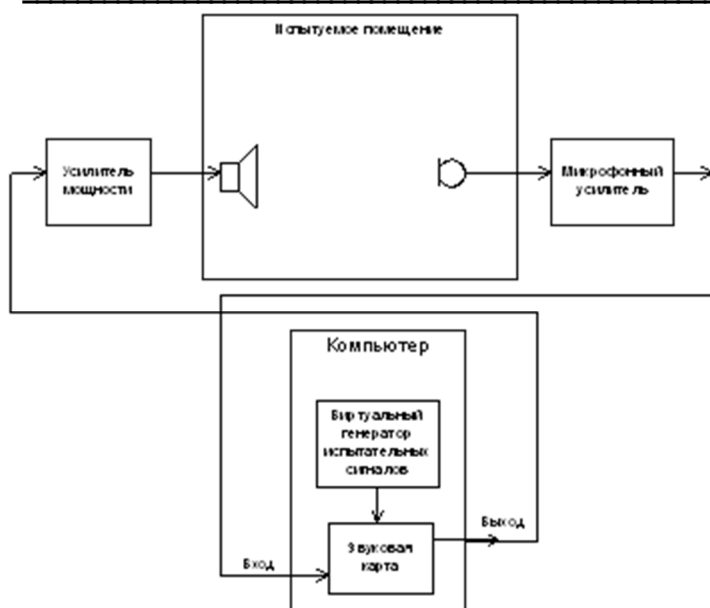


Рис. 5. Структурная схема измерения ВР на базе программного пакета Cool Edit Pro

При использовании пакета Sound Forge в качестве источника измерительного сигнала используется внешний генератор сигналов, который через фильтр и усилитель подключается к громкоговорителю. Одновременно сигнал от генератора подается на один из входов стереофонической звуковой карты компьютера (на рис. 4 левый канал (ЛК)).

Воспринимаемый микрофоном акустический сигнал помещения, усиливается микрофонным усилителем и подается на второй вход звуковой карты (правый канал (ПК)).

В режиме работы пакет Sound Forge включается режим записи. При этом на один канал стереодорожки будет записан сигнал непосредственно от генератора, а на второй – сигнал от

микрофона. При выключении источника звука коммутатором К1 в ЛК отображение сигнала прекратится, а в ПК – будет отображаться спадание уровня сигнала, характеризующее реверберационный процесс. Зная уровень сигнала в ПК до отключения источника, что отображается на индикаторе уровня, можно найти место на фонограмме с уровнем -30 дБ относительно установившегося начального уровня. Выделив участок сигналаграммы от момента выключения источника до места с уровнем -30 дБ по шкале времени нетрудно определить временной интервал, характеризующий половину времени реверберации. Полное время реверберации будет равно удвоенной величине.

При использовании пакета Cool Edit Pro необходимо помнить о том, что Cool Edit Pro это многоканальная виртуальная студия, которая позволяет записывать и воспроизводить звуковые сигналы независимо для каждого канала. Программа Cool Edit Pro, являясь многоканальной студией, позволяет воспроизводить один канал, при этом записывать на другой любой сигнал [5]. При этом не нужен внешний генератор испытательных сигналов.

Все сигналы можно сформировать с помощью встроенного в Cool Edit Pro генератора,

причем разной формы и частоты, включая шумовой сигнал. Сформированные испытательные сигналы, среди которых – белый шум, тональные или частотно-модулированные сигналы с центральными частотами 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Гц, размещаются на нечетных каналах, а на четных каналах записываются воспринимаемые микрофоном сигналы.

На рис. 6 показано главное окно программы Cool Edit Pro при формировании испытательного сигнала в виде

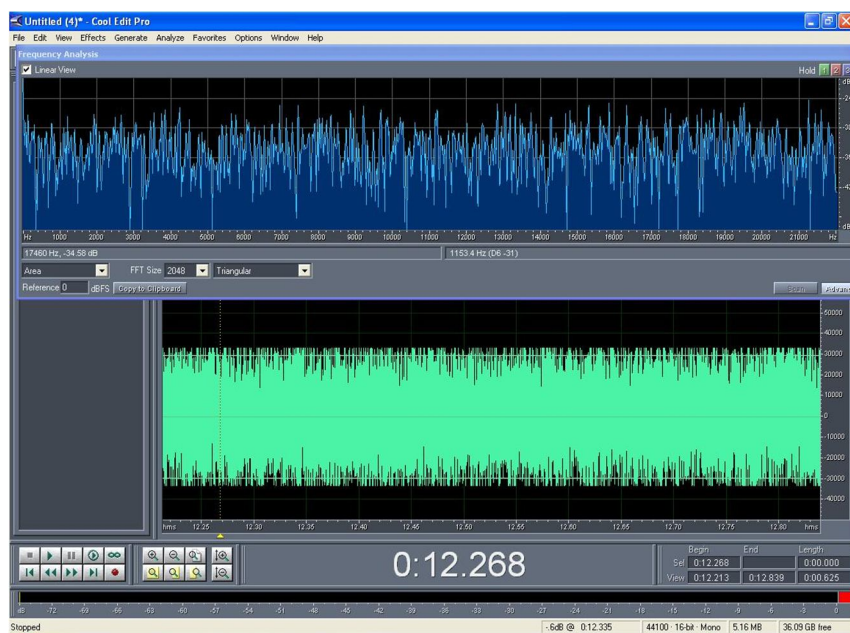


Рис. 6. Главное окно программы Cool Edit Pro

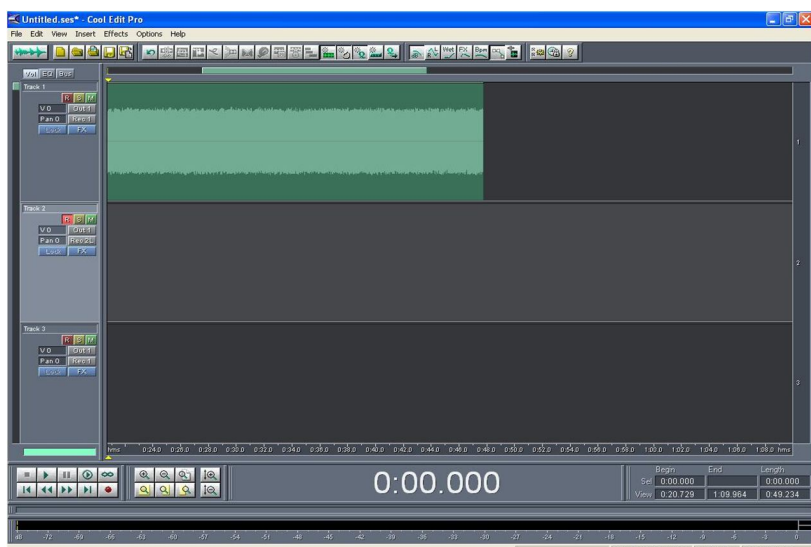


Рис. 7. Окно программы Cool Edit Pro до измерения

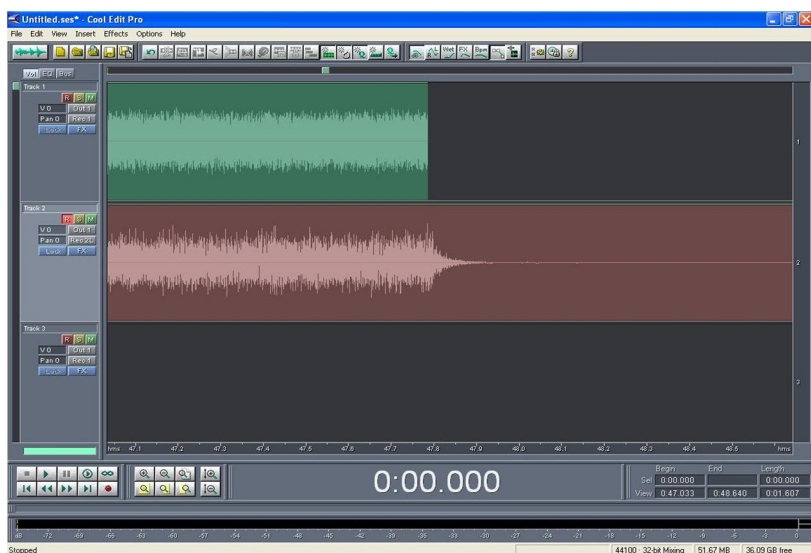


Рис. 8. Окно программы Cool Edit Pro после измерения

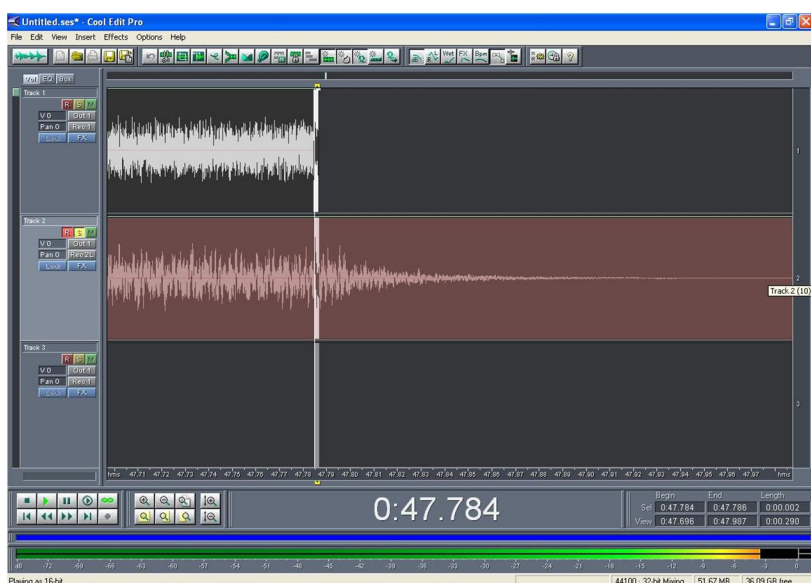


Рис. 9. Окно программы Cool Edit Pro при определении уровня сигнала до отключения источника

белого шума.

В окне отображается осциллограмма белого шума (внизу) и его спектр (вверху), а также время звучания до момента отключения.

На рис. 7 показано окно программы Cool Edit Pro перед началом измерения ВР, когда на одном из каналов виртуальной студии установлена фонограмма испытательного сигнала в виде белого шума и этот канал включается в режим воспроизведения, а второй канал включается в режим записи, и на него будет записываться сигнал от микрофона.

На рис. 8 отображены сигналы после проведения измерения. Во втором канале четко видно спадание уровня сигнала, что говорит об реверберационном процессе в помещении.

Если развернуть изображение по горизонтали, то можно выделить короткий фрагмент сигнала до отключения и определить средний уровень сигнала, поступающего от микрофона (рис. 9). Потом можно найти место на сигналограмме с уровнем, который на 30 дБ меньше начального (рис. 10) и выделить фрагмент фонограммы между двумя точками. Временной интервал выделенного фрагмента будет характеризовать половину времени реверберации (рис. 11).

Заключение. В настоящей работе предложен простой



Рис. 10. Окно программы Cool Edit Pro при определении уровня сигнала на 30 дБ меньше чем в установленном режиме

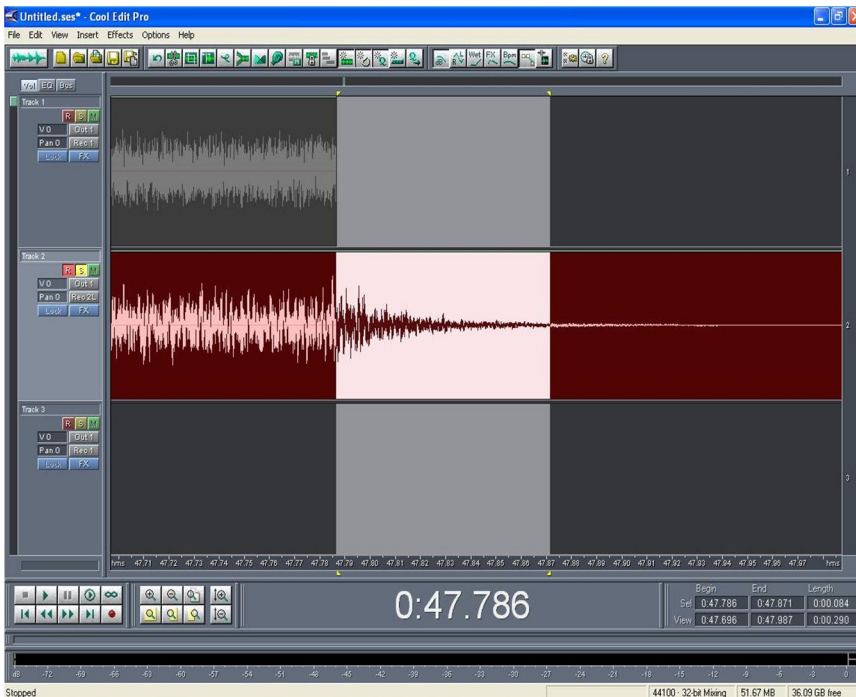


Рис. 11. Окно программы Cool Edit Pro при выделении временного интервала $T_p/2$

метод измерения ВР помещений с помощью пакетов прикладных программ Sound Forge и Cool Edit Pro. Метод не требует использования громоздкой аппаратуры и пригоден для экспресс-анализа ВР помещений.

Литература

1. Кнудсен Верн Оливер. Архитектурная акустика: пер. с англ. под ред. Е.А. Копиловича, Л.Д. Брызжева. – Изд. 4-е. – М.: Издательство ЛКИ, 2007. – 520 с.

2. Акустика: Справочник / А.П.Ефимов, А.В.Никонов, М.А.Сапожков, В.И.Шоров ; под ред. М.А.Сапожкова. – Изд. 2-е. – М.: Радио и связь, 1989. – 336 с.

3. 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.

4. Зрительные залы. Метод измерения времени реверберации / ГОСТ 24146-89. Дата введения 1990-01-01.

5. Петелин Р.Ю. Музыкальный компьютер. Секреты мастерства / Р.Ю. Петелин Ю.В. Петелин. – Изд. 2-е. – СПб.: БВХ-Петербург; Арлит, 2004. – 688 с.