

Контроль уровня аудиосигнала в видеопроизводстве

Сергей Соколов, Юлия Звезда (по материалам ITU)

Понравится или не понравится телепрограмма зрителю – это зависит от множества причин. Глубина раскрытия темы, актуальность и другие творческие аспекты играют, конечно же, важнейшую роль. Про технические характеристики вспоминают обычно в последнюю очередь, когда требуется объяснить причины снятия программы с эфира или отсутствие к ней интереса аудитории.

На выходе правильно выстроенного технологического процесса мы получаем программу с приемлемыми техническими свойствами. В этом случае можно будет без напряжения услышать все, что говорят, и насладиться игрой актеров или музыкой. И переход от одного фрагмента программы к другому будет не пугать аудиторию, а привлекать ее. Какими должны быть технические параметры сигнала, чтобы слушать его было приятно? Возникает вопрос нормирования параметров и их измерений, в частности – уровня.

Перед тем, как установить требования к каким-то параметрам, надо их определить. Мало, например, принять закон, в котором написано, что громкость рекламы не должна превышать громкости основной программы, надо определить процедуру измерений. Сегодня никому не требуется доказывать, что измеритель пикового или среднего значения уровня не вполне отражает громкость звучания, требуются другие инструменты.

Измерение громкости

В основе первой попытки ITU-R (МСЭ-Р) создать объективный метод исследования громкости лежит вычисление среднеквадратичного значения уровня взвешенного монофонического сигнала: $Leq(RLB)$. Эквивалентный уровень громкости звука (Leq) был определен следующим образом:

$$Leq(W) = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{x_w^2}{x_{ref}^2} dt \right], [1]$$

где: x_w – сигнал на выходе взвешивающего фильтра; x_{ref} – опорный сигнал; T – длительность аудиопоследовательности (интервал времени анализа).

Символ W означает, что используется частотное взвешивание, в данном случае – и по RLB-кривой (revised low-frequency B-curve). Развитие этого метода позволило применять его и для измерений громкости стереофонических сигналов. Метод объективного (математического) определения субъективной громкости основывается на вычислении параметров сигналов раздельно в каждом канале. В процессе измерений сигнал проходит несколько стадий обработки.

Первая стадия – предварительная фильтрация, учитывающая акустические эффекты около головы человека как жесткой сферы (рис. 1).

Корректирующий фильтр имеет подъем АЧХ около 4 дБ на частотах выше 3 кГц.

Структура предварительного фильтра представлена на рис. 2.

Для частоты дискретизации 48 кГц округленные до четырех значащих цифр коэффициенты имеют следующие значения: $a_1=-1,691$, $a_2=0,732$, $b_0=1,535$, $b_1=-2,692$, $b_2=1,198$. В ори-

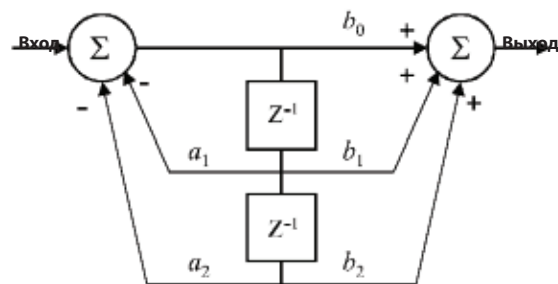


Рис. 2. Структура взвешивающего фильтра

гинале даны значения с точностью 15 значащих цифр. Значения коэффициентов можно округлить для согласования с точностью имеющегося конкретного оборудования или программного обеспечения. Испытания показали, что эффективность метода не зависит от небольших изменений коэффициентов. Реализация фильтра при других частотах дискретизации требует коррекции значений коэффициентов, чтобы обеспечить получение требуемой АЧХ.

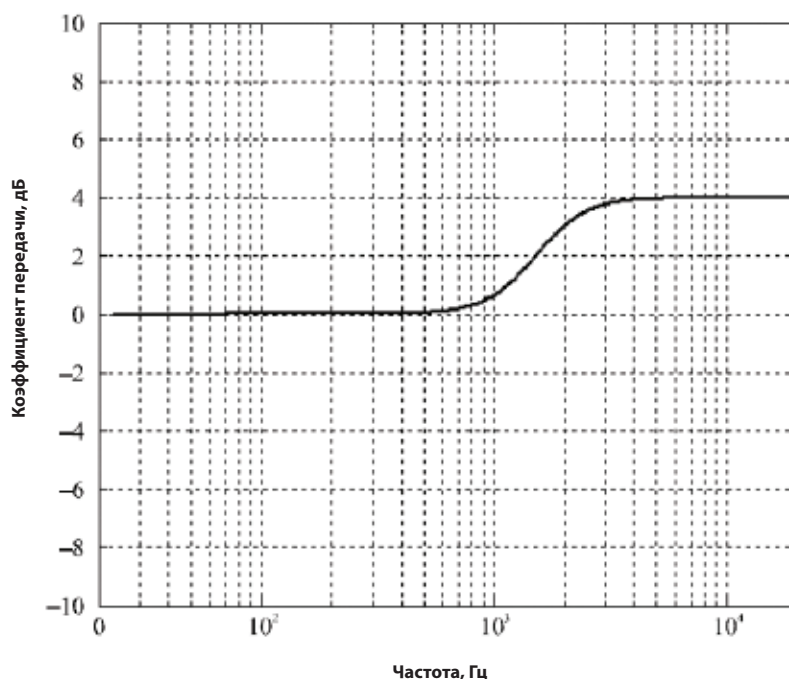


Рис. 1. АЧХ предварительного фильтра, отражающего акустическое влияние головы слушателя на громкость

Вторая стадия – частотное взвешивание по RLB-кривой, учитывающей субъективные аспекты восприятия сигнала. Амплитудно-частотная характеристика фильтра приведена на рис. 3, она имеет спад на низких частотах.

Реализует необходимую АЧХ фильтр второго порядка, он имеет такую же структуру, как и предварительный (см. рис. 2).

Коэффициенты для частоты дискретизации 48 кГц: $a_1=-1,990$, $a_2=0,990$, $b_0=1,000$, $b_1=-2,000$, $b_2=1,000$. Здесь они также округлены, в оригинале даны значения с точностью 15 значащих цифр.

Третья стадия – вычисление для каждого из каналов среднеквадратического значения Z_i сигнала, полученного путем фильтрации:

$$Z_i = \frac{1}{T} \int_0^T y_i^2 dt \quad [2]$$

Здесь: y_i – сигнал после прохождения двух фильтров; i – номер канала (правый, левый, правый и левый окружения и центральный); T – интервал времени анализа.

Уместно отметить, что y_i представляет собой безразмерную величину – дискретные значения отсчета сигнала, по умолчанию нормированные к полной шкале.

В завершение вычисленные для всех каналов значения Z_i суммируются с взвешивающими коэффициентами G_i :

$$\text{Loudness} = -0,691 + 10 \log_{10} \sum_i^N G_i \cdot Z_i \text{ LKFS, [3]}$$

где N – количество каналов.

Значения взвешивающих коэффициентов G_i следующие: 1,0 – для фронтальных каналов (L, C и R); 1,41 – для тыловых каналов (Ls и Rs).

Численный результат вычисления по уравнению [3] является объективной оценкой громкости: LKFS или Loudness, K weighted, relative to nominal full scale. На русский язык это выражение можно перевести следующим образом:

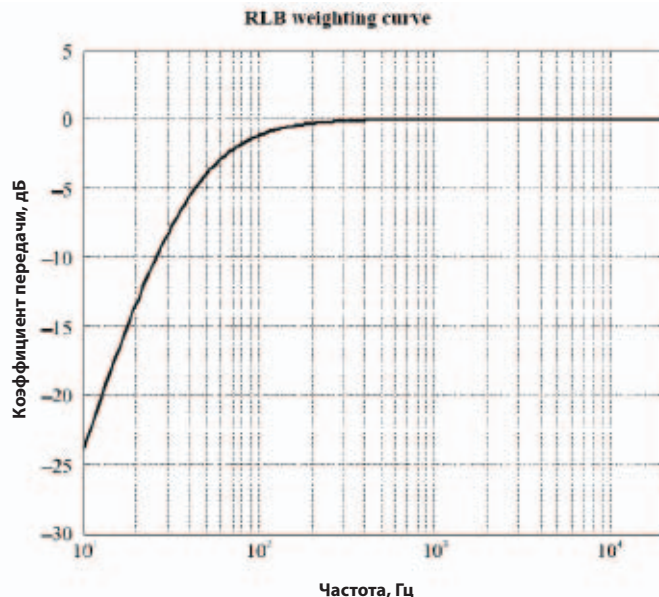


Рис. 3. АЧХ взвешивающего RLB-фильтра

взвешенное по кривой К, нормированное к полной шкале значение уровня громкости.

Кривая К демонстрирует действие двух фильтров: отражающего акустического эффекта на голове и взвешивающего по кривой RLB.





«ДИП»

ПРОГРЕССИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА И ВЕЩАНИЯ

www.dip.spb.ru www.divs.tv

ПРОДУКЦИЯ

- DIVS-B Вещательные видеосерверы
- DIVS-G Серверы графического оформления эфира
- DIVS-A Серверы мониторинга и записи эфира (логгеры)
- DIVS-E Кодеры/декодеры MPEG-2/4, мультиплексоры
- DIVS-C HD/SD кросс-конвертеры
- DIVS-M Мультиэкранные процессоры

РЕШЕНИЯ

- ▶ Автоматизированные вещательные комплексы
- ▶ Комплексы многоканальной синхронной записи
- ▶ Комплексы по производству информационных программ
- ▶ Системы хранения (медиаархивы)
- ▶ Комплексы многоканального мониторинга и записи эфира
- ▶ Системы автоматизации вещания для региональных телекомпаний и кабельных операторов

www.dip.spb.ru
www.divs.tv

dip@dip.spb.ru
sales@dip.spb.ru

Санкт-Петербург
ул. Правды 13 +7(812)315-64-29



Рис. 4. Схема измерителя громкости

Если синусоидальный сигнал с частотой 1 кГц и уровнем 0 dBFS подать на левый, центральный и правый каналы, то получим громкость, равную -3 LKFS.

Схема (рис. 4) иллюстрирует процедуру измерения.

Исходные сигналы фильтруются, затем вычисляется среднеквадратичное значение в прямоугольном окне, полученные результаты суммируются с взвешивающими коэффициентами.

Для оценки возможностей многоканального метода измерения громкости были проведены субъективно-статистические исследования. Фонограммы для испытаний были взяты из реальных телевизионных и радиопередач из разных стран мира, а также с CD и DVD. При испытаниях слушатель сравнивал оцениваемое звучание

с эталонным. В качестве типичного значения уровня звукового давления было выбрано 60 дБА, что вполне отвечает условиям реального домашнего телевизионного просмотра.

Первая серия испытаний включала результаты оценки громкости 96-ти фрагментов, которые дали 97 слушателей. Опорным сигналом являлась женская английская речь. Сигналы воспроизводились через один громкоговоритель, помещенный непосредственно перед слушателем.

В дальнейшем был расширен ассортимент фонограмм и проведены испытания в условиях прослушивания, соответствующих рекомендации ITU-R BS.775 (рис. 5).

Результаты исследований представлены на рис. 6.

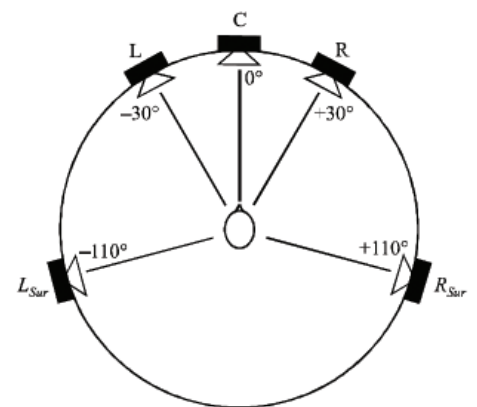


Рис. 5. Размещение акустических систем относительно слушателя по ITU-R BS.775

В целом метод показывает очень хорошую корреляцию (0,977) данных объективных измерений и субъективной оценки, но имеют место и отклонения, обусловленные индивидуальными особенностями восприятия или иными причинами. Отклонения достигают заметных значений, превышающих 5 дБ.

Уместно обратить внимание читателей и на тот факт, что обработке при вычислении громкости подвергаются данные в цифровой форме, когда не представляет проблемы вычисление среднеквадратичного значения в прямоугольном временном окне. Средствами аналоговой схемотехники выполнить такие вычисления было гораздо сложнее.

В [1] подробно описано, каким образом и при каких условиях были получены результаты, эта информация позволяет предсказать результат применения их на практике. Например, для концертной деятельности едва ли подойдет измеритель громкости по рекомендации ITU-R 1770, но в сфере вещания можно ожидать хороших результатов.

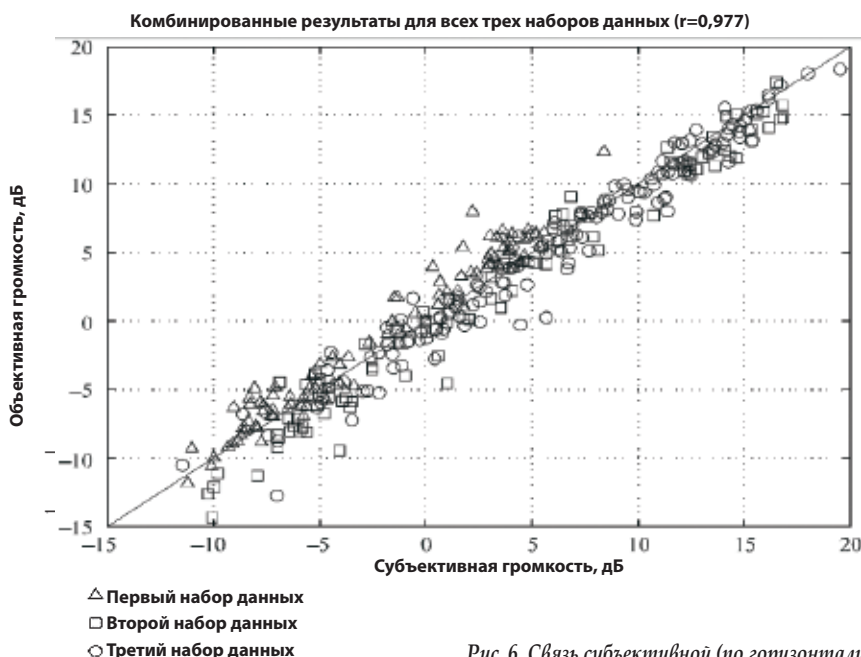


Рис. 6. Связь субъективной (по горизонтали) и измеренной (по вертикали) громкости

Пиковое значение

Усредненное значение сигнала адекватно отражает восприятие громкости сигнала, но для работы с фонограммой следует учитывать еще и пиковое значение уровня, этот аспект также рассмотрен в рекомендации ITU-R 1770:

Пиковый уровень – это максимальное (положительное или отрицательное) значение сигнала в определенной временной области.

Простейший пиковый детектор в цифровых системах работает по принципу сравнения текущего значения отсчета цифровой фонограммы с предыдущим. Если абсолютное значение отсчета больше предыдущего, то оно фиксируется как пиковое. Если же абсолютное значение меньше предыдущего, то оно умножается на величину, меньшую 1, чтобы обеспечить логарифмический спад во временной области.

Данному методу присущи известные недостатки:

- ◆ незарегистрированные перегрузки, что особенно неприятно в цифровых системах записи и обработки;
- ◆ на одном и том же участке фонограммы измеритель может показать разные значения уровня;
- ◆ при измерении уровня синусоидального сигнала индицируется изменение уровня.

Если выйти за рамки стиля официального документа, то о простейших цифровых измерителях уровня можно сказать одно: эти приборы показывают неизвестно что. Особенно заметны перечисленные эффекты при измерении уровня высокочастотных сигналов.



Рис. 7. Функциональная схема измерителя пиковых уровней

Предлагаемый в рекомендации ITU-R 1770 метод измерения пикового уровня свободен от отмеченных недостатков благодаря тому, что точно анализируется форма звукового сигнала. Необходимая для решения практических задач точность обеспечивается корректным повышением частоты дискретизации.

Измерение пикового значения уровня сигнала по ITU-R 1770 включает следующие этапы (рис. 7):

- ◆ ослабление сигнала на 12 дБ (сдвиг на 2 бита), что обеспечивает запас по перегрузке, необходимый для корректной обработки сигнала;
- ◆ увеличение частоты дискретизации с 48 до 192 кГц, за счет чего точнее восстанавливается истинная форма сигнала;
- ◆ коррекция передыскажений (опция);
- ◆ удаление постоянной составляющей (опция);
- ◆ выпрямление (выделение абсолютного значения).

На выход 2 подается максимальное значение из двух полученных, то есть с постоянной составляющей и без нее. На устройство индикации выводится от-

носительное значение, соотношенное с уровнем 100% или полной шкалой.

Может показаться удивительным тот факт, что в 2010 году ученые вновь обращаются к измерению пикового значения уровня сигнала. Простейшая, казалось бы, операция, особенно в цифровом виде: достаточно вывести на индикатор цифровые отсчеты, сгладив обратный ход для получения приятного внешнего вида. Прodelайте несложный опыт: посмотрите, что показывает индикатор уровня вашего аудиоредактора при работе с сигналами, частота которых близка к 24 кГц – половине частоты дискретизации 48 кГц. Но именно от таких «простейших» вещей зависит успех больших проектов. Мелочами «вымощена дорога в ад».

Уместен комментарий: при измерении уровня аналоговых сигналов приходилось решать несколько иные задачи, и последствия погрешностей измерений были существенно иными. Переход на цифровые технологии работы со звуковыми сигналами заставил по-новому взглянуть на вопрос измерения пикового значения уровня. Описанный

Преобразователь стандартов PHDC-7301

20 SMPTE-стандартов SD/HD-SDI – из любого в любой!

- ▶ Синхронизация выходного сигнала с опорным при совпадении форматов
- ▶ Передача вложенного звука с компенсацией рассинхронизации видео и аудио
- ▶ Шумоподавитель видео с регулируемой степенью подавления
- ▶ Регулируемый корректор четкости
- ▶ Регулировка яркости, контрастности и насыщенности
- ▶ Сертифицирован

ПРОФИТТ

www.profit.ru
E-mail: info@profit.ru
Тел./факс: (812) 297-7032
297-7120/22/23, 297-5193

Погрешность измерения пикового уровня цифрового сигнала простейшими средствами иллюстрирует диаграмма В.1.

Аналоговый сигнал А представлен последовательностью дискретных отсчетов Ц, величина которых равна значению сигнала в момент дискретизации (1). На рассматриваемом интервале времени все отсчеты несколько меньше реального амплитудного значения аналогового сигнала. Если абсолютные значения этих отсчетов вывести на пиковый индикатор, то получим уровень, который заметно меньше, чем реальное пиковое значение сигнала (2). При использовании такого простейшего индикатора могут быть допущены незафиксированные перегрузки.

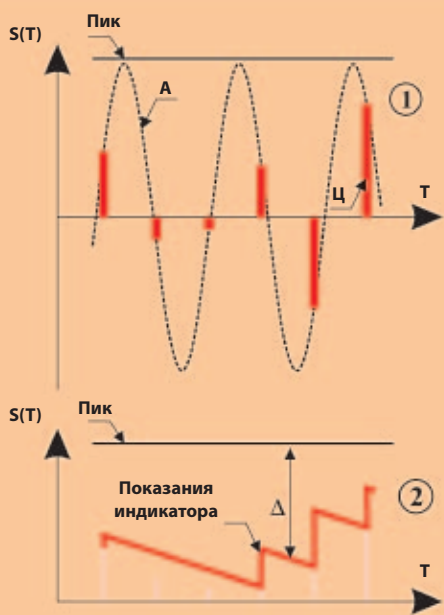


Рис. В.1. Простейший измеритель уровня цифрового сигнала имеет существенную погрешность на высоких частотах

Возможность повышения точности измерения пикового значения уровня цифрового сигнала иллюстрирует диаграмма В.2.

Для повышения точности производится увеличение частоты дискретизации. По значениям исходных отсчетов, которые показаны красным цветом на (1), вычисляются промежуточные, они изображены синим цветом (2). В итоге частота дискретизации повышается в 4 раза. По абсолютным значениям полученных отсчетов формируются показания индикатора (3). Точность модифицированного измерителя существенно выше, чем у простейшего.

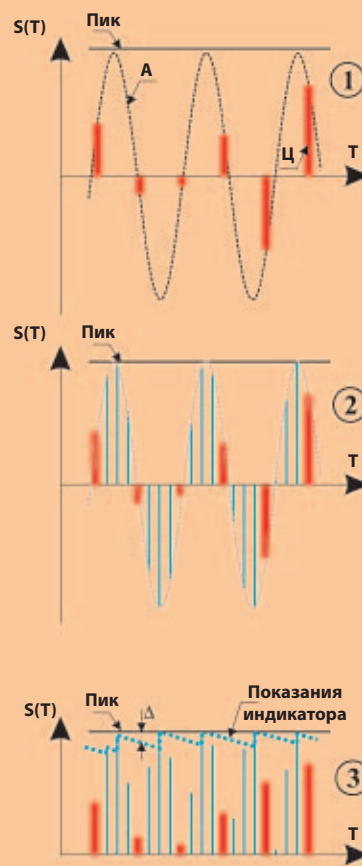


Рис. В.2. Повышение точности измерений пикового значения уровня цифрового сигнала

выше метод измерения пикового значения уровня сигнала основан на строгой математике и может применяться практически без ограничений.

Цели и задачи

В документе [1] подробно изложена методика вычислений уровня. Встает вопрос, каким именно должно быть его значение? Ответ дает документ EBU Rec. R 128 Loudness normalisation and permitted maximum level of audio signals.

Пиковое значение уровня сигнала по R 128 не должно превышать -1 dBTP (dB True Peak), то есть измеренное в соответствии с рекомендацией ITU-R 1770. Требование вполне понятно. Его выполнение практически исключает перегрузку и связанные с ней нелинейные искажения.

Уровень громкости программы, к которому следует стремиться (Target Level) тоже определен: -23 LUFS. Здесь LUFS (Loudness Unit, referenced to Full Scale – уровень громкости, нормированный к полной шкале) эквивалентен уровню LKFS, измеренному по Рекомендации ITU-R BS.1770. В этом пункте ясности немного меньше, чем в ситуации с пиковым

уровнем: бывают программы различных жанров, и неочевидна возможность приведения их к общему знаменателю; и внутри программы громкость звучания тоже не остается постоянной.

Итак, появились конкретные значения параметров, на которые следует ориентироваться, чтобы удовлетворить потребности аудитории. Какими средствами их можно достичь? Ответ тривиален: необходимо выстроить технологический процесс так, чтобы параметры сигналов удовлетворяли техническим нормам.

Да, потребуются измерительные приборы, для правильного применения которых полезно понимание принципов их действия, чему и посвящена данная статья.

Да, потребуется оборудование для обработки звуковых сигналов. Некоторые модели звуковых процессоров, предназначенных для ТВ, позволяют задать «целевое значение громкости». Получается, что достаточно купить прибор, установить рекомендованные -23 LUFS, и о дальнейшем можно не заботиться?

Конечно же, не все так просто.

Во-первых, мы познакомились только с «вершиной айсберга», и практически не

коснулись мелочей и деталей, которым посвящены отдельные документы [3,4].

Во-вторых, оборудование для измерений или изменений параметров звукового сигнала – это необходимое, но не достаточное условие создания высококачественного звука.

Рассмотренные в статье документы могут помочь выстроить технологический процесс, но главное в этом производстве – творчество. И никакая техника не заменит собой ухо человека, но она способна ему помочь.

Список источников

1. ITU-R BS.1770: Algorithms to measure audio programme loudness and true-peak audio level.
2. EBU Technical Recommendation R 128: Loudness normalisation and permitted maximum.
3. EBU Tech Doc 3341 Loudness Metering: «EBU Mode» metering to supplement loudness normalisation in accordance with EBU R 128.
4. EBU Tech Doc 3342 Loudness Range: A descriptor to supplement loudness normalisation in accordance with EBU R 128.