

АЛГОРИТМ КОМПАНДИРОВАНИЯ СИГНАЛА ЗВУКОВОГО ВЕЩАНИЯ С СОХРАНЕНИЕМ ЕГО ФОРМЫ

ALGORITHM FOR COMPANDING A SOUND BROADCASTING SIGNAL WITH SAVING ITS SHAPE

**O. Popov
V. Tatiana
P. Kuznetsov
D. Makarina**

Summary. Existing channels for transmission and storage of a sound broadcast signal do not provide the ability to preserve the natural dynamic range. To save it, either compander systems are used, including a compressor and an expander that distort the signal, or an increase in the bit depth of the signal representation, which sharply increases the volume of the transmitted signal. An algorithm is proposed that ensures companding with maximum preservation of the signal shape while minimizing its volume.

Keywords: segment, gain, window function, dynamic range, signal-to-noise ratio, distortion, bit depth.

Попов Олег Борисович

Профессор, кандидат технических наук
Московский технический университет связи
и информатики, г. Москва
olegr45@yandex.ru

Чернышева Татьяна Васильевна

Доцент, кандидат технических наук
Московский технический университет связи
и информатики, г. Москва
krba2012@yandex.ru

Кузнецов Петр Геннадьевич

Аспирант
Московский технический университет связи
и информатики, г. Москва
peter.kyznetsov@gmail.com

Макарина Диана Александровна

Аспирант
Московский технический университет связи
и информатики, г. Москва
makarina.diana1995@yandex.ru

Аннотация. Существующие каналы передачи и хранения сигнала звукового вещания не обеспечивают возможность сохранения естественного динамического диапазона. Для его сохранения используются либо компандерные системы, включающие компрессор и экспандер, искажающие сигнал, либо повышение разрядности представления сигнала резко увеличивающий объем передаваемого сигнала. Предлагается алгоритм, обеспечивающий компандирование с максимальным сохранением формы сигнала при минимизации его объема.

Ключевые слова: сегмент, коэффициент усиления, оконная функция, динамический диапазон, соотношение сигнал/шум, искажения, разрядность представления.

Введение

Существующие компандерные системы сжимают динамический диапазон на входе канала и расширяют на выходе. Сигнал управления процессом сжатия — расширения формируется из самого сигнала, поэтому на времени срабатывания устройства

отмечаются искажения [1]. Величина сигнала управления определяется наиболее сильными спектральными составляющими сигнала, поэтому отмечается внутри — сигнальная модуляция слабых составляющих. Для устранения модуляции используются многополосные системы компандирования существенно искажающие атаку звукового сигнала, которые определяются

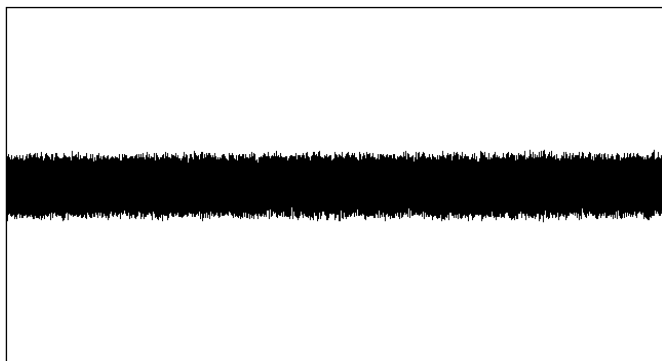


Рис. 1. Сигнал на входе

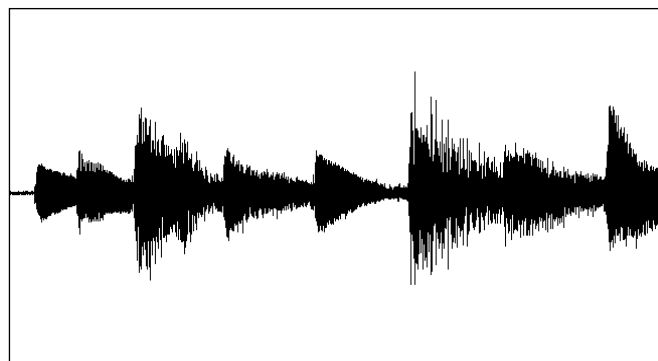


Рис. 2. Зашумленный канал

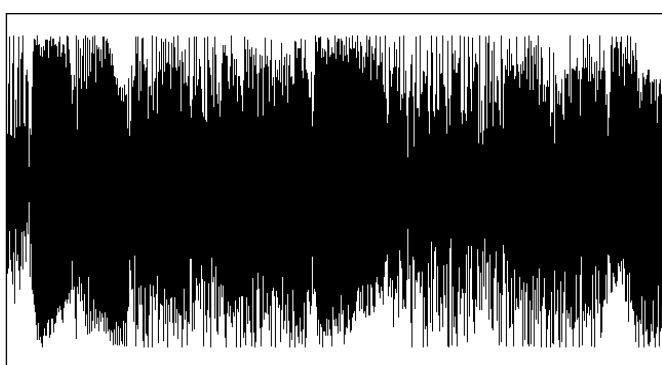


Рис. 3. Сжатый сигнал в зашумлённом канале

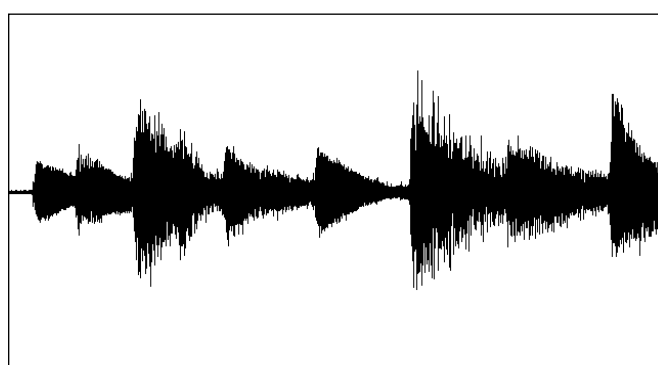


Рис. 4. Восстановленный сигнал

Рис. 5. Полученная ошибка

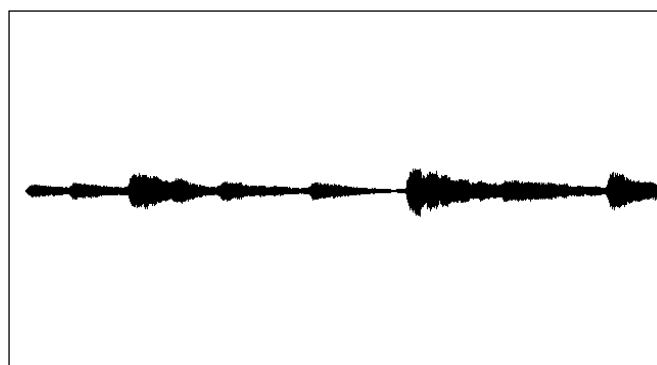


Рис. 5. Полученная ошибка

не процессом звукоизвлечения, а свойствами фильтра. Передать сигнал с минимальными искажениями можно увеличивая разрядность представления, но это требует увеличения объема сигнала и не применимо в уже существующих системах. Кроме того, при повышении соотношения сигнал/шум выше 56 дБ, слушатель не замечает приращения качества [2], а при восприятии слабых сигналов, составляющих 80% длительности музыкальных произведений защищенность от шумов недоста-

точна. Следует заметить, что при уровнях ниже 46 дБ перестает действовать эффект частотной маскировки и чувствительность слуха к шумам резко повышается.

Ранее кафедрой Телевидения и Звукового вещания МТУСИ был разработан алгоритм неискажающего компрессирования звукового сигнала с обработкой аналитической огибающей, обеспечивающий повышение соотношения сигнал\шум на 10 дБ [3,4]. Ниже предлага-

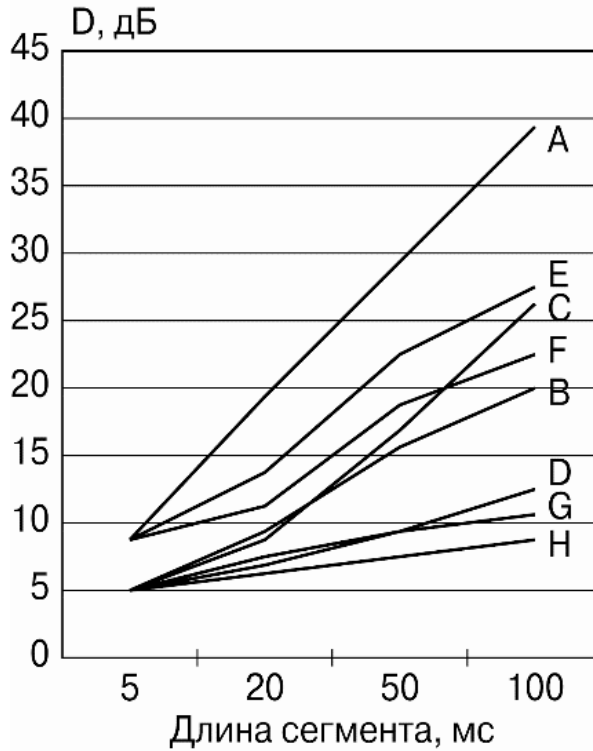


Рис. 6. Зависимость динамического диапазона компрессированного звукового сигнала разных жанров от длины сегмента.

Сигналы: А — речь диктора, В — пианино, С — скрипки, D — виолончель, E — оркестр, F — блюз, H — орган.

ется алгоритм, позволяющий повысить с/ш на 30 дБ для слабых сигналов.

Алгоритм компандирования

Суть алгоритма достаточно проста. Для передачи сигналов малого уровня по зашумленному каналу без искажений, посегментно весь сигнал усиливается до номинального уровня. Координаты сегментов и коэффициенты усиления передаются либо в структуре сигнала, либо по отдельному каналу.

Во процессе реализации алгоритма над сигналом производятся следующие операции:

- ◆ Сегментация оцифрованного сигнала.
- ◆ Запоминание сигнала, обработанного оконной функцией с перекрытиями.
- ◆ Нормализация каждого сегмента на номинальный уровень.
- ◆ Передача коэффициента нормализации каждого сегмента и их координат на приемную сторону.
- ◆ Восстановление непрерывного сигнала и передача по каналу.
- ◆ На приёмной стороне сигнал проходит все те же операции в обратном порядке.

На рисунках 1–5 изображены осциллограммы сигналов, на различных этапах обработки.

Для большей наглядности на рисунках, уровень шума был специально завышен.

Исследования эффективности алгоритма

Были проведены исследования по определению максимально возможного сжатия динамического диапазона для реальных звуковых сигналов разных жанров в зависимости от длительности сегмента в диапазоне от 5 до 100 мс. Результаты исследования приведены на рис. 6. По результатам эксперимента динамический диапазон сигналов всех жанров можно сжать до диапазона в 5–8 дБ, что позволяет повысить защищенность от шумов канала передачи. Даже при 8 разрядном представлении с помощью импульсно кодовой модуляции защищенность составит около 40 дБ.

Одним из недостатков существующих автоматических регуляторов уровня, которым можно отнести и компандерные системы, является расширение спектра сигнала в области низких частот за счет модуляции

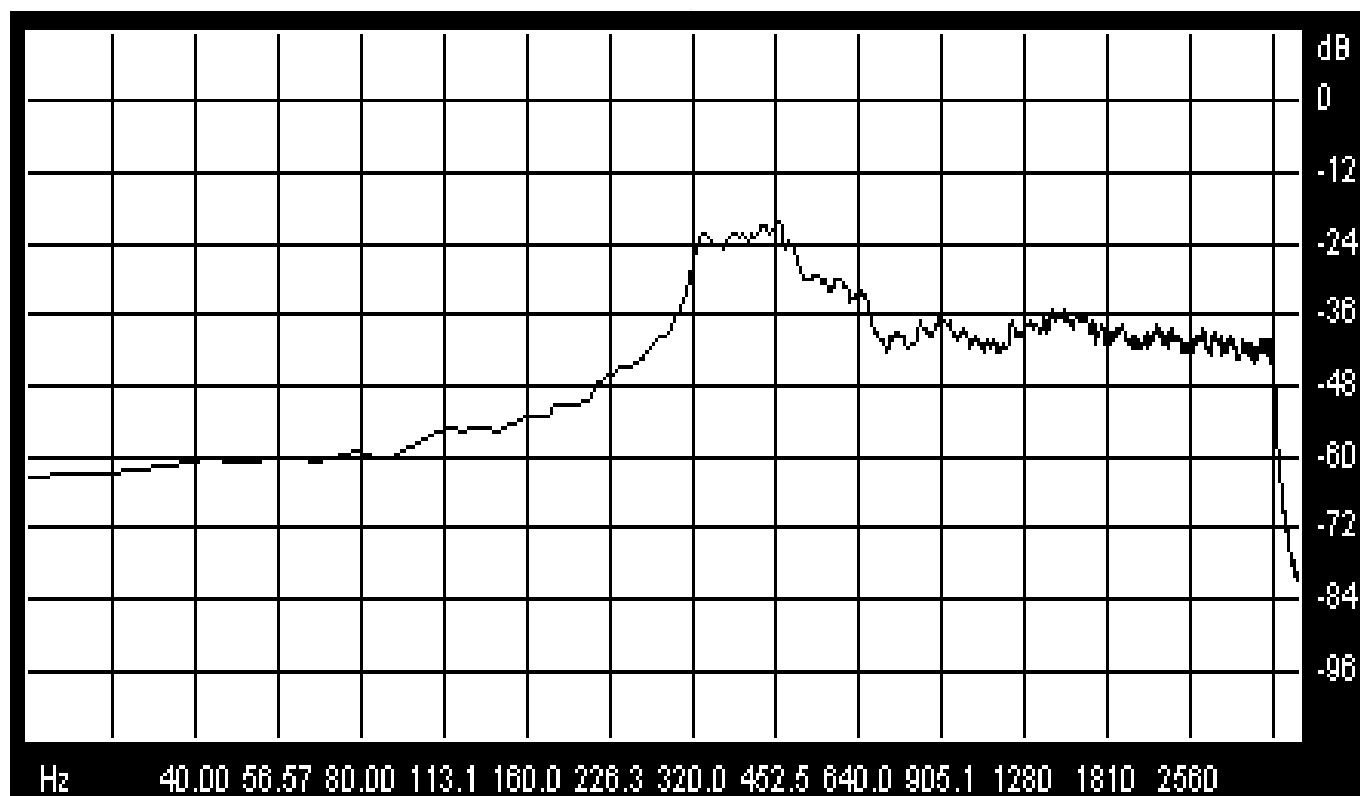


Рис. 7. Спектральная оценка компрессированного сигнала сегментированного на длительности 5 мс.

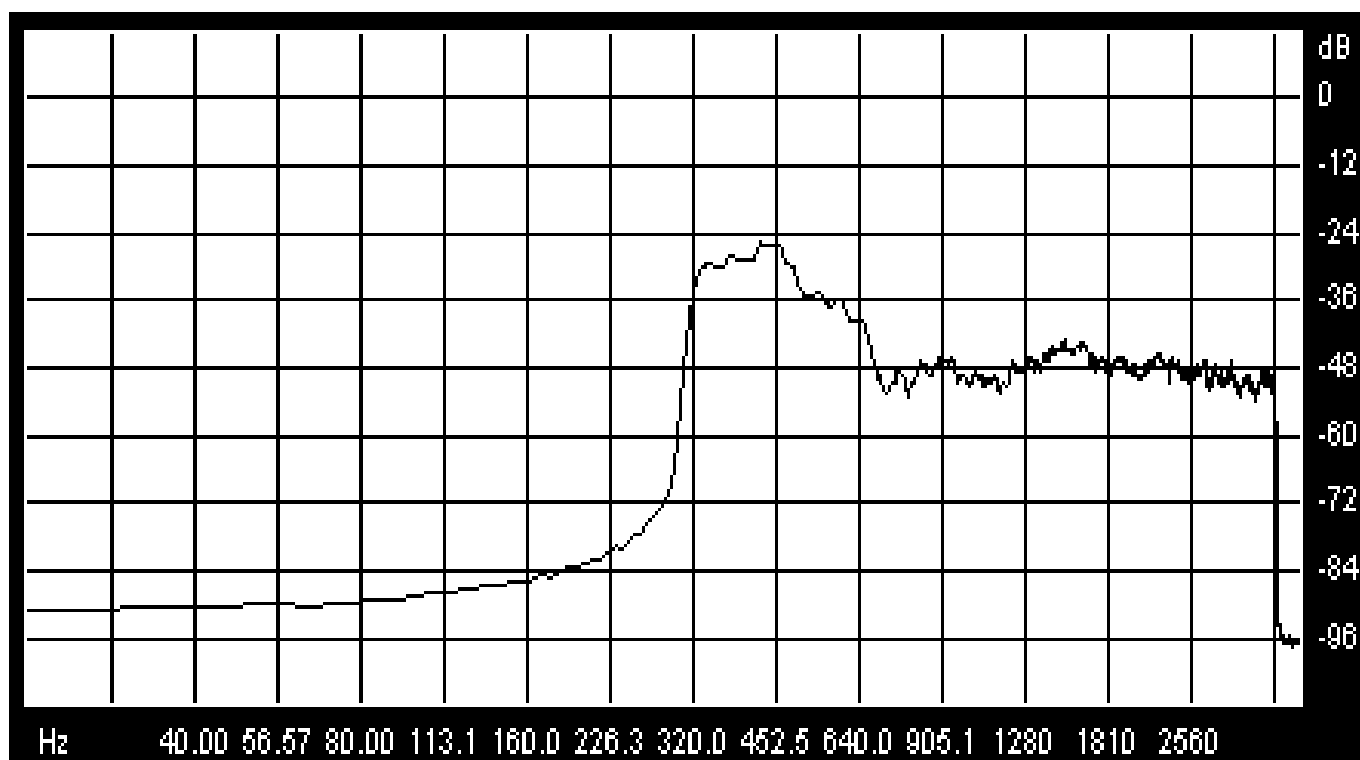


Рис. 8. Спектральная оценка компрессированного сигнала сегментированного на длительности 100 мс.

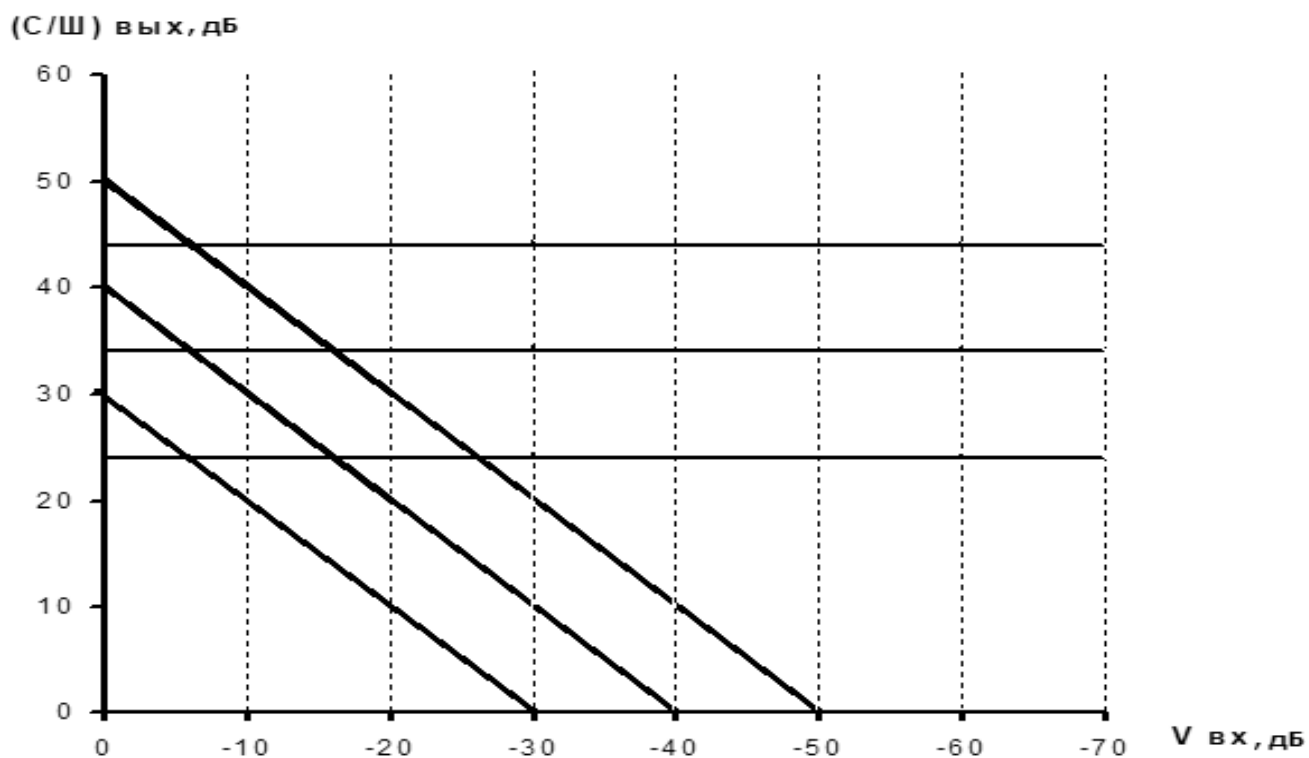


Рис. 9. Зависимость отношения сигнал-шум (ОСШ) от уровня шумов канала для тестовых сигналов

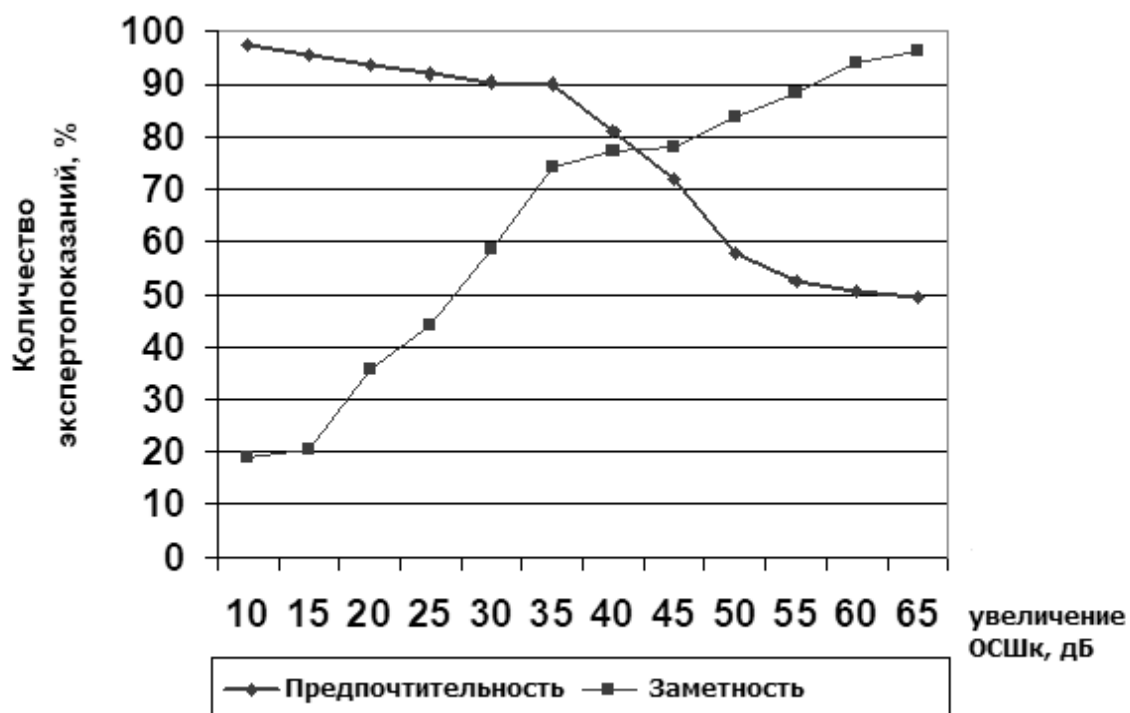


Рис. 10. Зависимость субъективных оценок качества от уровня шумов канала передачи.

сигнала сигналом управления. В технической документации на аудиопроцессор Оптимод фирмы «Орбан» рекомендуется расширить полосу пропускания канала передачи до 0,7 Гц для неискаженной передачи [5]. Такое расширение позволяет продемонстрировать эффективность обработки сигнала заказчикам на выходе модулятора. Но полосу пропускания приемников никто не расширял, что приводит к снижению эффективности регулирования. На рис. 7–8 приведены спектры реального сигнала на длительностях 5 и 100 мс подтверждающие отсутствие расширения спектра после компрессирования.

Было проведено полунатурное моделирование алгоритма на реальных звуковых сигналах разных жанров. Исходный сигнал сегментировался и увеличивался по амплитуде до номинального уровня, затем к нему подмешивался шум. Далее сигнал экспандировался и вычитался в противофазе из исходного сигнала. Полученный сигнал ошибки позволил оценить объективно эффективность алгоритма и сформировать зависимость отношения сигнал/шум сигналов разного уровня, представленные на рис. 9.

Можно видеть, что даже в каналах с уровнем шумов в пределах –35 дБ вполне реально передавать сигнал звукового вещания с достаточной точностью и защищенностью порядка 60 дБ.

В процессе проведения исследований было также выяснено, что практически полностью отсутствует внутри сигнальная модуляция сигнала характерная для аудиопроцессоров формирующий сигнал управления коэффициентом передачи из самого сигнала.

На завершающем этапе исследований были проведены субъективно-статистические измерения (ССИ) качества передачи по критериям оценки «заметность изменения» сигнала и его «предпочтительность» для сигналов разных жанров. Напомним, что такие исследования были проведены на кафедре Рв и ЭА, ныне ТиЗв [6] и стали основой ГОСТа — 11515 [7]. Использовался канал с соотношением сигнал/шум 10 до 65 дБ. Сформированные зависимости представлены на рис. 10.

Как известно точность ССИ составляет порядка 15%. Даже если предъявлять экспертам один и тот же сигнал

15% дотошных экспертов «замечают», что в сигнале что-то изменилось [6].

По результатам ССИ подтверждена возможность передачи сигнала звукового вещания по каналам с защищенностью от шумов порядка 35 дБ. Напомним, что именно по критерию «заметность изменения» реального сигнала формировался ГОСТ 11515 [7], переписанный с некоторыми ухудшениями и ошибками в ныне действующий ГОСТ Р 52742–2007 [9].

Заключение

Разработанный алгоритм позволяет передавать и хранить высококачественный сигнал звукового вещания в системах с разрядностью представления, не превышающей 8 разрядов, обеспечивая требования ГОСТ Р 52742–2007 [9].

Использование алгоритма позволяет использовать для хранения и передачи высококачественного сигнала уже существующие системы не увеличивая разрядность представления сигнала до 20–24 дБ.

Алгоритм позволяет сохранить форму сигнала и не требует отключения при проведении регламентных измерений, что недостижимо для большинства аналогичных аудиопроцессорных систем, которые, согласно ГОСТ 11515, предлагается отключать на время регламентных измерений, по оценке качества передачи. То есть, оценка производится для одного канала, а передача осуществляется по-другому.

Алгоритм не вносит внутри — сигнальной модуляции и не искажает формы «атак», начальных участков звуковых объектов, которые обеспечивают разборчивость речевых сигналов, распознаваемость, музыкальных и оценку качества звучания. Напомним, что для борьбы с внутри-сигнальной модуляцией используется многополосное представление звукового сигнала, а с этого момента процесс нарастания «атака» определяется свойствами фильтра, а не способами звукоизвлечения и качеством самого сигнала.

Хочется надеяться, что разработанный алгоритм найдет свое применение в каналах передачи и хранения сигналов звукового вещания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов О.Б., Рихтер С.Г. Цифровая обработка и измерения сигналов в трактах звукового вещания. — М.: Инсвязьиздат, 2010. — 292 с.
2. Цвикер Э., Фельдкеллер Р., Ухо как приемник информации. — М: Связь, 1965, 104 с.
3. Патент RU2691122 С1. Опубликовано 11.06.2019 БИ № 17 Способ и устройство компандирования звуковых вещательных сигналов. Авторы: Абрамов В.А., Попов О.Б., Орлов В.Г.

4. Патент RU2731602 С1. Опубликовано 04.09.2020 БИ № 25 Способ и устройство компандирования с предсказанием звуковых вещательных сигналов. Авторы: Абрамов В.А., Попов О.Б.
5. Литвин С.А., Попов О.Б., Чернышева Т.В. Аудиопроцессорная обработка сигналов звукового вещания в каналах передачи: Учебное пособие / МТУ-СИ. — М., 2016. — 68 с.
6. Исследование заметности искажений в радиовещательных каналах / Под ред. И.Е. Горона. — М.: Связьиздат, 1959, 121 с.
7. ГОСТ 11515–91. Каналы и тракты звукового вещания. Основные параметры качества. Методы измерения.
8. О некоторых недостатках ГОСТ Р 52742–2007 «Каналы и тракты звукового вещания» 19-я Международная НТК «Современные Телевидение и Радиоэлектроника». — М.: ФГУП МКБ «Электрон», 2011, — Тезисы докладов с. 50–54.
9. ГОСТ Р 52742–2007. Каналы и тракты звукового вещания. Типовые структуры. Основные параметры качества. Методы измерений.

© Попов Олег Борисович (olegp45@yandex.ru), Чернышева Татьяна Васильевна (krba2012@yandex.ru),
Кузнецов Петр Геннадьевич (peter.kuznetsov@gmail.com), Макарина Диана Александровна (makarina.diana1995@yandex.ru).
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»