

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОСЕГМЕНТНОГО КОМПАНДИРОВАНИЯ ЗВУКОВОГО СИГНАЛА

OPTIMIZATION OF SEGMENTAL PARAMETERS COMPANDING THE SOUND SIGNAL

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

Summary. Existing systems for companding the dynamic range of an audio signal, necessary for its transmission over transmission channels, introduce significant distortions into the signal. At the Department of Television and Sound Broadcasting of the Moscow Technical University of Communications and Informatics, an algorithm for a compander system that does not distort the signal shape has been developed. For the correct operation of the algorithm, it is necessary to determine the optimal control parameters: the duration of the segments depending on the genre of sound; gain in signal-to-noise ratio; bit depth of the expander control signal. The determination of the optimal values of these parameters is given below.

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
Москва
olegr45@yandex.ru

Чернышева Татьяна Васильевна

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

Кузнецов Петр Геннадьевич

Аспирант
Московский технический университет связи
и информатики
Москва
peter.kuznetsov@gmail.com

Макарина Диана Александровна

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

Аннотация. Существующие системы компандирования динамического диапазона звукового сигнала, необходимые для его передачи по каналам передачи вносят существенные искажения в сигнал. На кафедре Телевидения и Звукового вещания Московского Технического Университета Связи и Информатики разработан алгоритм компандерной системы, не искажающей форму сигнала. Для корректной работы алгоритма необходимо определить оптимальные параметры регулирования: длительность сегментов в зависимости от жанра звучания; выигрыш по соотношению сигнал/шум; разрядность сигнала управления экспандером. Определение оптимальных значений данных параметров приведено ниже.

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

Введение

Существующие системы компандирования обеспечивают увеличение соотношения сигнал/шум относительно шума в паузе, внося искажения в моменты изменения уровня сигнала. Оценка качества работы таких систем производится по результатам субъективно статистических измерений. Разработанный в МТУСИ [1] алгоритм позволяет сохранить форму сигнала, повысить отношение сигнал/шум на фоне сигнала канала передачи и может быть оценен объективно, по разнице между исходным и принятым сигналом [1]. Внешний вид сигнала ошибки приведен на рисунке 1.

Видно по характеру сигнала, что ошибки возникают в зоне малых разрядностей сигнала, практически в районе первого шага квантования. В процессе обработки используются современные высокоразрядные АЦП — ЦАП, что позволяет снизить ошибки преобразования и использовать для передачи по каналу существующие системы с ограниченным числом разрядов.

Для передачи сигналов малого уровня по зашумленному каналу без искажений, весь сигнал посегментно усиливается до номинального (максимального для канала) уровня. Координаты сегментов и коэффици-

енты усиления передаются либо в структуре сигнала, либо по отдельному каналу на приемную сторону, где восстанавливается исходный уровень сегментов. Для эффективной работы алгоритма были проведены исследования оптимальной длительности сегментов, определен выигрыш в защищенности от шумов и разрядность представления сигнала управления, который передавался на приемную сторону. Все исследования проводились с использованием реальных сигналов разной жанровой направленности, а также для вещательных сигналов ряда радиостанций России. Критерии объективной оценки определялись в соответствии с допусками [2], для субъективной оценки использовались критерии предложенные в [3]. Алгоритм посегментного компандирования был разработан в ходе работ по неискажающему компандированию [4, 5].

Исследование эффективности алгоритма для вещательных сигналов разной жанровой направленности

Эффективность алгоритма была проверена путем обработки тестовых сигналов на программной модели для выявления зависимости интервального отношения сигнал/шум (ИОСШ) от длительности выборок. Оценка производилась при разном уровне шума в канале, для



Рис. 1. Оциллограмма сигнала ошибки.

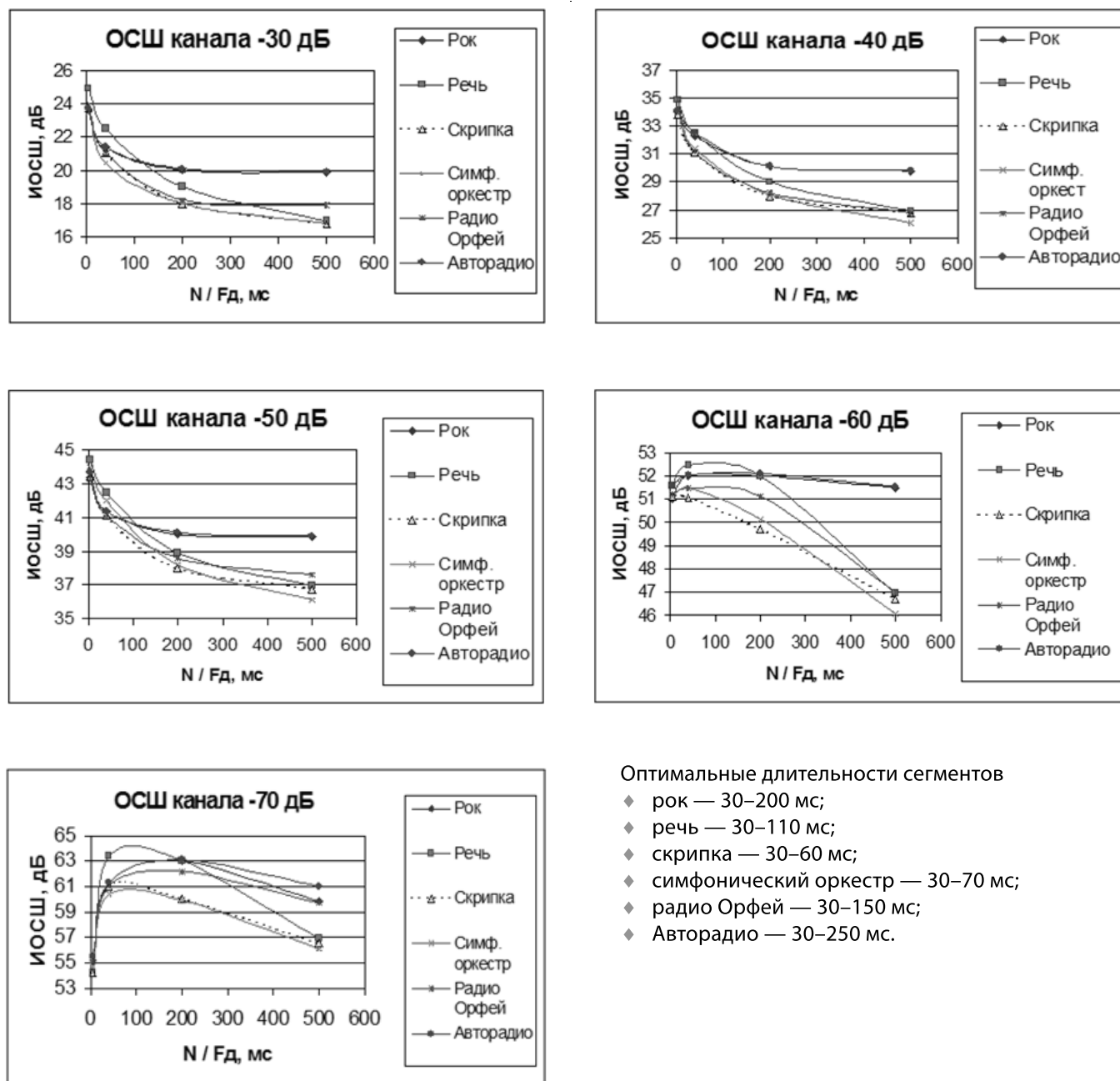


Рис. 2. Зависимость отношения сигнал/шум (ОСШ) от уровня шумов канала

сигналов разной жанровой направленности, а также для вещательных сигналов ряда радиостанций России. Измерения проводились в формате ИКМ — 16 разрядов, 44.1 кГц. Сигнал компрессировался, к нему подмешивался шум, затем экспандировался и сравнивался с исходным.

В качестве тестовых звуковых сигналов использовались:

- ◆ Скрипка — Mozart. Serenade in C major KV 551 "Eine Kleine Nachtmusik". Movement (3:22 с.).
- ◆ Речь — женская дикторская речь (3:42 с.).
- ◆ Рок — Ramstein. XXX. (3:10 с.).

Оптимальные длительности сегментов

- ◆ рок — 30–200 мс;
- ◆ речь — 30–110 мс;
- ◆ скрипка — 30–60 мс;
- ◆ симфонический оркестр — 30–70 мс;
- ◆ радио Орфей — 30–150 мс;
- ◆ Авторадио — 30–250 мс.

- ◆ Симфонический оркестр — Vladimir Ashkenazy, piano. Concertgebouw Orchestra Bernard Haitink. Sergei Rachmaninov. Piano Concerto № 3, in D minor. 3 Finale Alla breve (4:04 с.).
- ◆ Радио Орфей. База типовых радиовещательных радиостанций кафедры РВ и ЭА. (60:00).
- ◆ Авторадио. База типовых радиовещательных радиостанций кафедры РВ и ЭА. (60:00).

Графики зависимости отношения сигнал/шум (ОСШ) от уровня шумов канала приведены на рисунке 2.

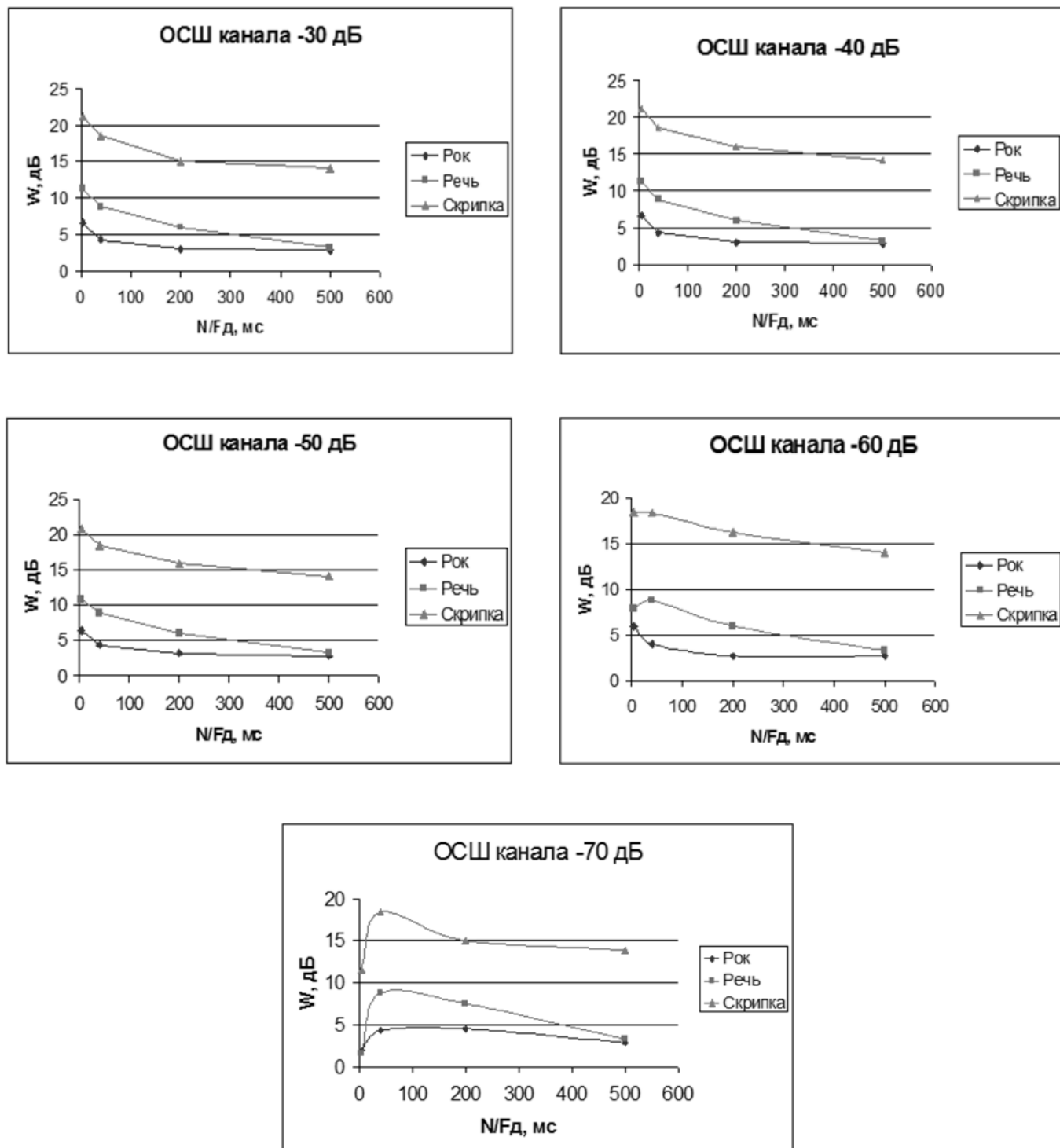


Рис. 3. Зависимость выигрыша W от величины выборки

Видно, что длительность выборки, равная 40 мс, представляет собой наиболее «универсальное» значение, подходящее для разных типов звуковых сигналов. При низких уровнях шума эффективность компрессора одинакова для разных музыкальных жанров (так при уровне шума в канале -70 дБ практически полностью

исчезает зависимость ИОСШ от типа входного сигнала (различие не более 3 дБ). В любом случае ИОСШ не опускается ниже 15 дБ при уровне шума в канале -30 дБ и длительности выборки, которая значительно превышает оптимальное значение, что свидетельствует о высокой эффективности работы компрессора-экспандера.

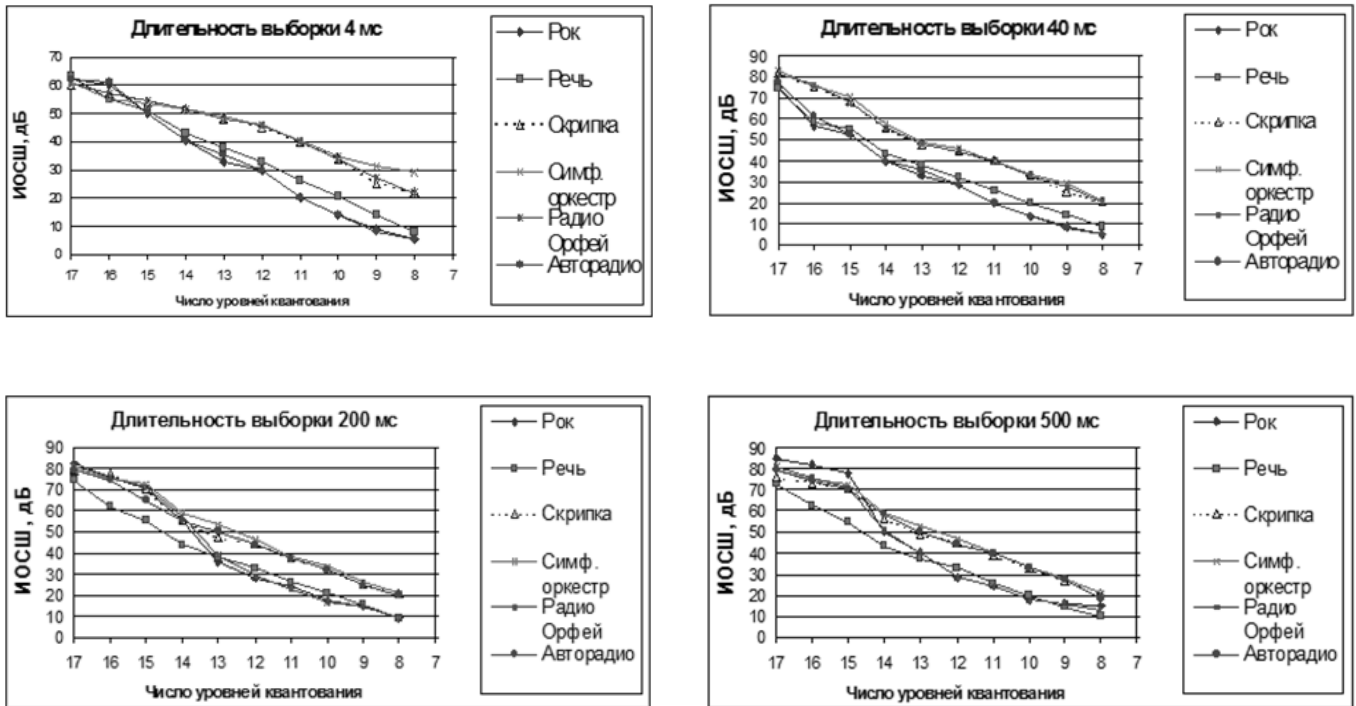


Рис. 4. Зависимость ИОСШ от длительности выборки при понижении числа уровней квантования сигнала управления

Как видно из приведенных зависимостей, имеет место снижение эффективности компандерной системы по мере увеличения длительности выборок. В свою очередь вместе со снижением уровня шумов в канале значение длительности выборки, соответствующее максимальному значению ИОСШ, смещается в сторону увеличения и лежит в пределах 30–200 мс. Для изначально достаточно компрессированных сигналов (рок, Авторадио) эффективность не снижается, по мере увеличения длины выборки. Наиболее вероятная причина этого в том, что эти сигналы содержат достаточно мало отрезков с небольшим и даже средним уровнем сигнала, поэтому при увеличении длительности выборки, потери за счет менее точного представления этих участков малы. В случае же, когда обрабатываются сигналы с большим количеством «тихих» участков, с большим динамическим диапазоном (симфоническая музыка, скрипка), предпочтительно использование коротких сегментов, благодаря чему воздействие шумов канала может быть значительно уменьшено.

В связи с тем, что сигналы сильно отличаются по величине средней относительной средней мощности (ОСМ) могут быть выработаны рекомендации по длительности сегмента в зависимости от типа сигнала. Найденные в результате проведенных исследований рекомендуемые длительности выборок составляют:

- ♦ рок — 30–200 мс;

- ♦ речь — 30–110 мс;
- ♦ скрипка — 30–60 мс;
- ♦ симфонический оркестр — 30–70 мс;
- ♦ радио Орфей — 30–150 мс;
- ♦ Авторадио — 30–250 мс.

Исследование эффективности алгоритма для вещательных сигналов разной жанровой направленности

На рисунке 3. приведены зависимости выигрыша W от величины выборки для разных соотношений С/Ш в канале.

Выигрыш W вычислялся по формуле: $W = \text{ИОСШ}_{КС} - \text{ИОСШ}_{БКС}$, где $\text{ИОСШ}_{КС}$ — интервальное отношение С/Ш сигнала с компандерной системой; $\text{ИОСШ}_{БКС}$ — интервальное отношение С/Ш сигнала без компандерной системы.

Приведенные зависимости показывают высокую эффективность компандерной системы при борьбе с шумами. Выигрыш W составляет 21 дБ. Небольшой выигрыш для рока объясняется тем, что, как было сказано выше, сигнал уже достаточно компрессирован (уровни максимально подняты), поэтому дополнительная компрессия дает относительно небольшой выигрыш.

Как показали измерения, разработанный алгоритм может использоваться при решении задачи передачи широкого класса сигналов по зашумленным каналам.

Исследование искажений, обусловленных квантованием сигнала управления

Для передачи фазоманипулированного сигнала управления (коэффициенты усиления для каждого сегмента) может использоваться как отдельный канал связи (достаточно узкополосного), так и узкая полоса верхних частот в самом звуковом сигнале. Использование цифрового представления сигнала и быстрого преобразования Фурье (БПФ) позволяет производить фильтрацию с большой крутизной АЧХ, что позволяет решить задачу реализации расфильтрованного сигнала и сигнала управления при построении аналоговых систем.

В случае квантования сигнала управления (при цифровом способе передачи), необходимо выявить зависимость ИОСШ выходного сигнала компандера от числа уровней квантования сигнала управления.

По данным, приведенным в таблице, построены зависимости ИОСШ от длительности выборки при понижении числа уровней квантования сигнала управления (рисунок 4).

Из рисунка 4 видно, что происходит существенное уменьшение ИОСШ при уменьшении числа уровней квантования сигнала управления. При малом количестве уровней квантования (8–9) зависимость ИОСШ от длины выборки незначительна. Для удовлетворительного качества работы компандерной системы не-

обходимо иметь 17–13 уровней квантования сигнала управления. Оптимальное значение составляет 16 уровней квантования.

Заключение

По результатам проведенных исследований определены оптимальные длительности сегментов для сигналов разной жанровой направленности при реализации посегментного неискажающего компандирования. Показано, что сжатие динамического диапазона зависит от жанровой направленности и может составлять от 30 до 200 мс, длина сегмента общая для всех жанров составляет 40 мс.

В зависимости от шумов используемого канала передачи выигрыш может быть разным, но он неизменно присутствует и достигает 21 дБ.

Разрядность представления сигнала управления, передаваемого на приемную сторону, определяет общий объем сигнала и должна быть не менее 13–17 разрядов в зависимости от требований к сигналу.

Разработанный алгоритм позволяет увеличить отношение сигнал/шум для слабых сигналов, плохо защищенных от шумов канала и не увеличивать защищенность для сильных сигналов, обладающих большим маскирующим действием [7].

Проведенное исследование позволяет конкретизировать параметры сигнала при посегментном компандировании. Достоинством алгоритма является его совместимость с существующими способами представления звукового сигнала и возможность повышения качества уже существующих систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов О.Б., Рихтер С.Г. Цифровая обработка и измерения сигналов в трактах звукового вещания. — М.: Инсвязьиздат, 2010. — 292 с.
2. ГОСТ Р 52742–2007. Каналы и тракты звукового вещания. Типовые структуры. Основные параметры качества. Методы измерений.
3. Исследование заметности искажений в радиовещательных каналах / Под ред. И.Е. Горона. — М.: Связьиздат, 1959, 121 с.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Цвикер Э., Фельдкеллер Р., Ухо как приемник информации. — М: Связь, 1965, 104 с.

© 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»