

РЕАЛИЗАЦИЯ СЛУХОВОГО ПРОТЕЗА НА СОВРЕМЕННЫХ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ПЛАТФОРМАХ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ТУГОУХОСТИ ЛЕГКОЙ И СРЕДНЕЙ СТЕПЕНИ

Вашкевич М.И., Азаров И.С., Лихачев Д.С.
Петровский А.А.

Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники

1. Цель разработки

Исследовать возможность создания карманного слухового аппарата (СА) на основе смартфона.

Основные особенности полученной реализации

- обработка сигнала в реальном масштабе времени;
- малая алгоритмическая задержка;
- коррекция огибающей спектра и компрессия динамического диапазона;
- встроенная аудиометрия.

2. Карманный слуховой аппарат на базе смартфона

Из-за своих конструктивных особенностей карманный СА имеет следующие преимущества и недостатки

Недостатки

- более заметен;
- не очень удобен для ношения;
- микрофон не использует естественную акустику наружного уха;

Достоинства

- большое расстояние между микрофоном и динамиком препятствует возникновению акустической обратной связи;
- возможность использования различных наушников;
- возможно создавать более высокий уровень звукового давления.

3. Реализация на популярной мобильной платформе

Реализация СА на основе смартфона имеет следующие преимущества

- простота проектирования – возможность программной реализации произвольного алгоритма обработки сигналов;
- большой доступный ресурс энергии;
- высокая производительность платформы;
- для пользователей смартфонов с нарушениями слуха нет необходимости приобретать и носить отдельное устройство;
- возможность применения алгоритмов коррекции слуха не только к акустическим сигналам, но и к аудио-видео записям, телефонным разговорам и т.д.;
- заметность СА не вызывает у пользователя психологических неудобств;

5. Аудиометрия

В результате аудиометрии формируется таблица минимальных уровней восприятия тональных сигналов (англ. HTL – hearing threshold level).

Пороги восприятия определяются на частотах 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц и могут принимать значения от -10 до 120дБ.

Для определения степени тугоухости учитываются усредненные значения порогов звуковосприятия на четырех частотах: 500, 1000, 2000, 4000 Гц. Исходя из этой классификации, нормальным слухом считается слух при порогах слышимости на речевых частотах, не превышающих 10 дБ. Легкое нарушение слуха регистрируют при порогах слышимости 10 - 25 дБ. Потеря слуха свыше 90 дБ определяется как глухота.

6. Классификация тугоухости

IV степени тугоухости

- I степень – снижение слуха в пределах 26-40 дБ (человек с такой потерей слуха с трудом распознает тихую речь и беседы, но справляется в тихой обстановке);
- II степень – 41-55 дБ (трудности в понимании беседы, особенно когда присутствует шум на заднем плане. Повышенная громкость необходима для ТВ и радио);
- III степень – 56-70 дБ (значительно задета чистота речи; речь должна быть громкой, возможны трудности при групповой беседе);
- IV степень – 71-90 дБ (значительная потеря слуха – пациент не слышит нормальную разговорную речь, трудности при распознавании даже громкой речи, способен понимать крик и преувеличенно четкую и громкую речь).

7. Расчет целевого усиления

Существует несколько классических методов расчета целевого усиления на основе аудиограммы: Berger, POGO (Prescription Of Gain and Output) и NAL-R (National Acoustic Laboratories, Australia).

Частота (Гц)	Berger	POGO	NAL-R $X=0,05(HTL500+HTL1k+HTL2k)$
250		HTL250/2-10	$X+0,31HTL250-17$
500	HTL500/2	HTL500/2-5	$X+0,31HTL500-8$
750	HTL750/1,8	HTL750/2-3	$X+0,31HTL750-3$
1000	HTL1k/1,6	HTL1k/2	$X+0,31HTL1k-1$
1500	HTL1,5k/1,6	HTL1,5k/2	$X+0,31HTL1,5k-1$
2000	HTL2k/1,5	HTL2k/2	$X+0,31HTL2k-1$
3000	HTL3k/1,7	HTL3k/2	$X+0,31HTL3k-2$
4000	HTL4k/1,9	HTL4k/2	$X+0,31HTL4k-2$
6000	HTL6k/2	HTL6k/2	$X+0,31HTL6k-2$

8. Синтез корректирующего фильтра

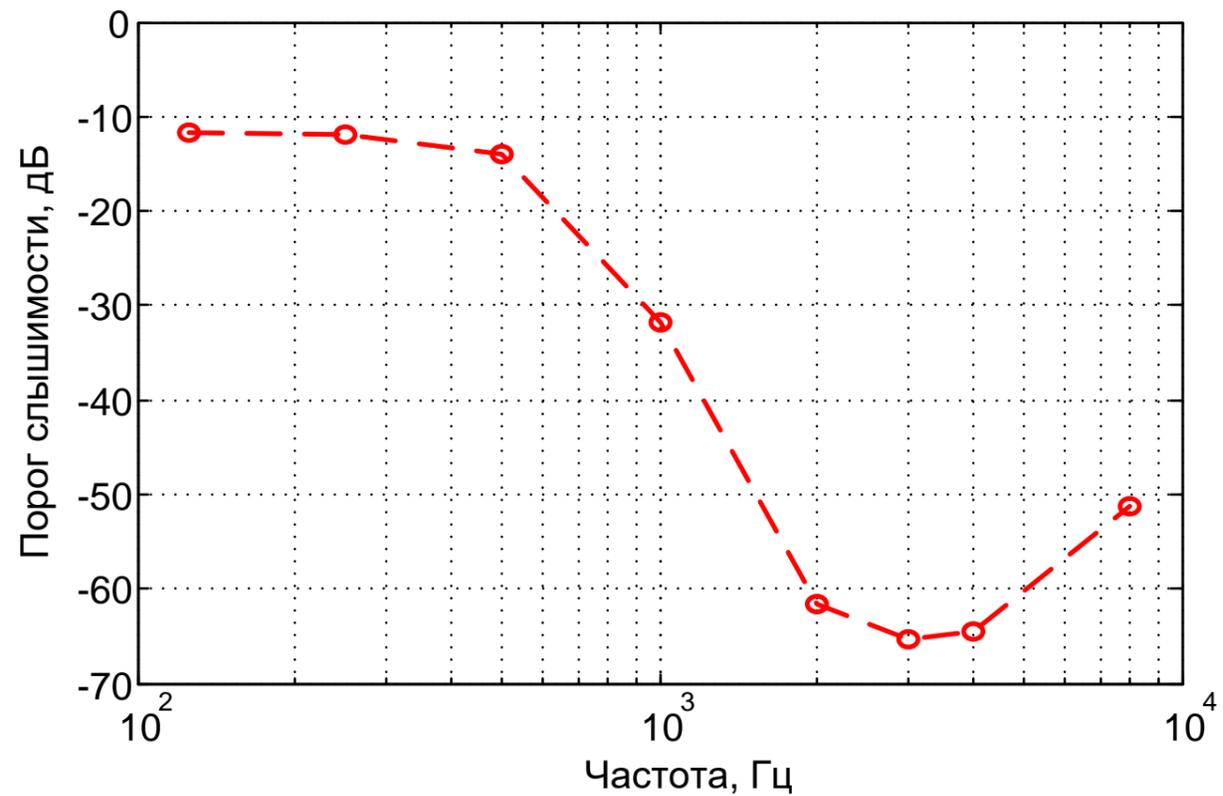
В предлагаемой реализации СА используются фильтры с линейной ФЧХ, которые удобно синтезировать при помощи оконного метода.

Алгоритм получения коэффициентов

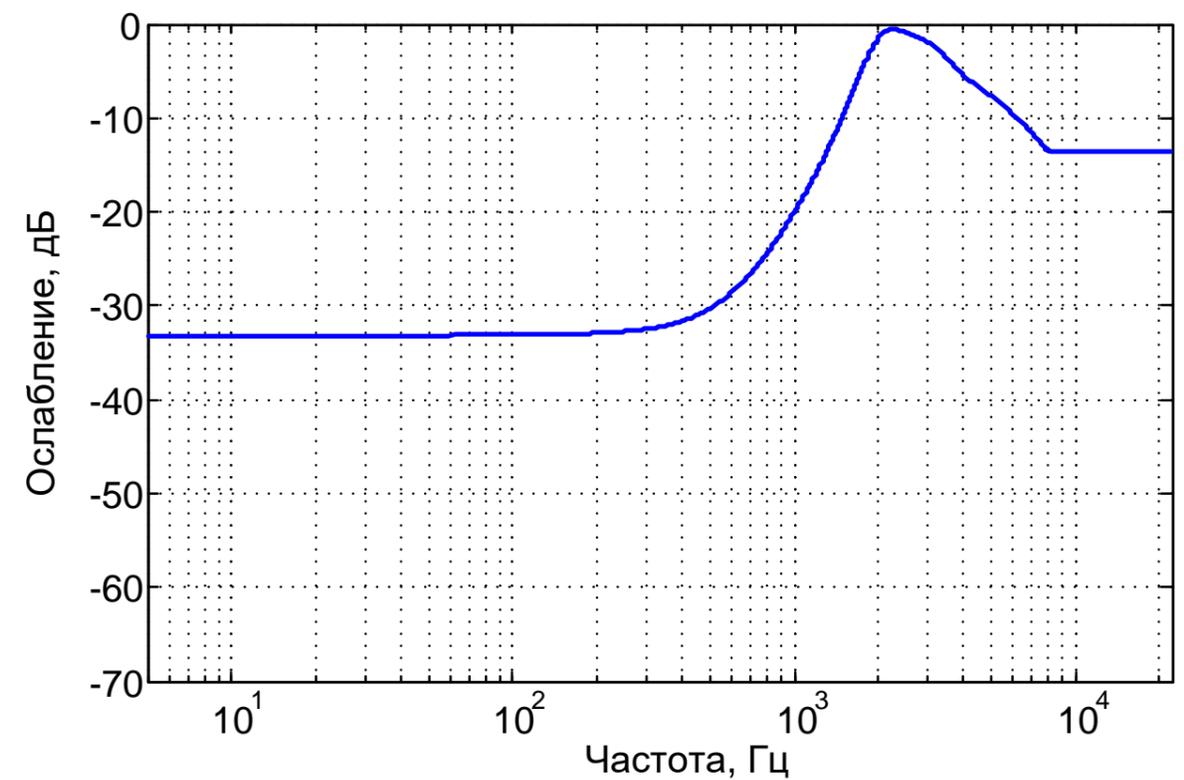
- 1) Целевая частотная характеристика фильтра формируется путем интерполяции целевых значений усиления в точках, соответствующих частотным отсчетам. Фаза всех частотных компонент принимается нулевой;
- 2) Вычисляется обратное преобразование Фурье целевой частотной характеристики;
- 3) Выполняется циклический сдвиг полученного вектора значений на половину числа его элементов;
- 4) Окончательная импульсная характеристика фильтра формируется путем умножения полученных значений на оконную функцию.

9. Синтез корректирующего фильтра (пример)

Аудиограмма пользователя

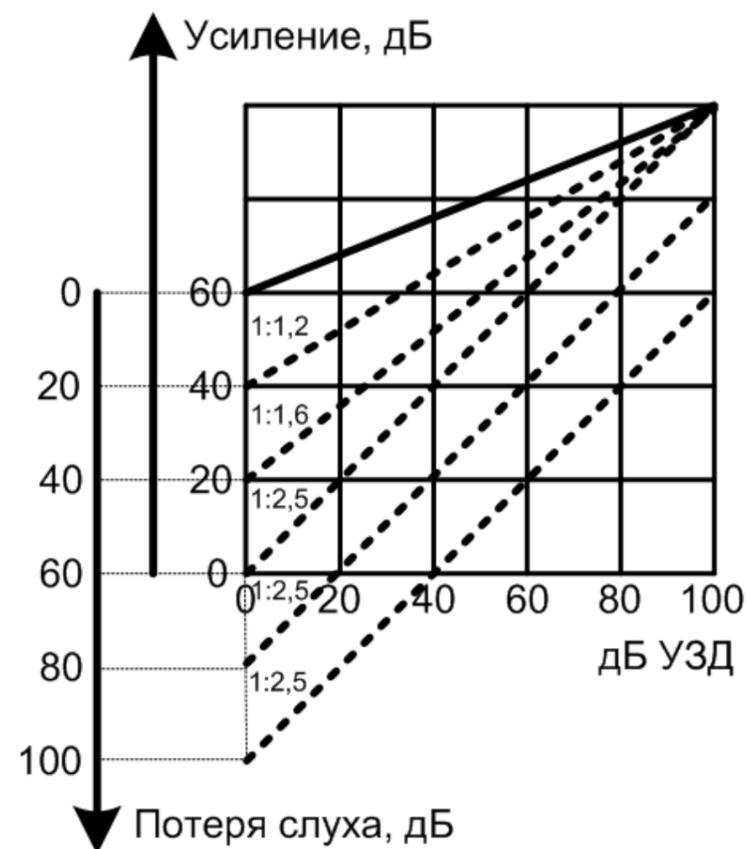


АЧХ фильтра-корректора



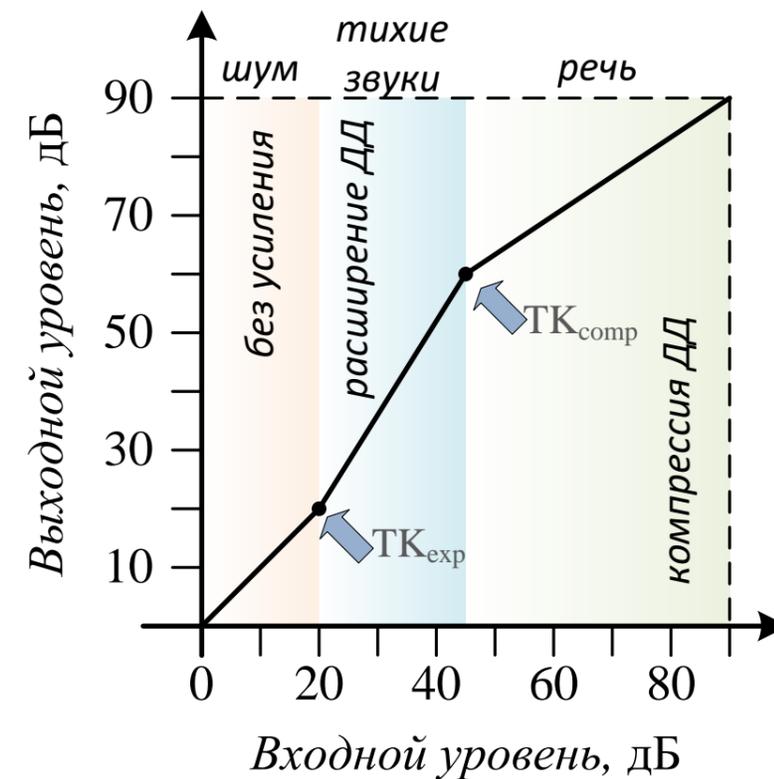
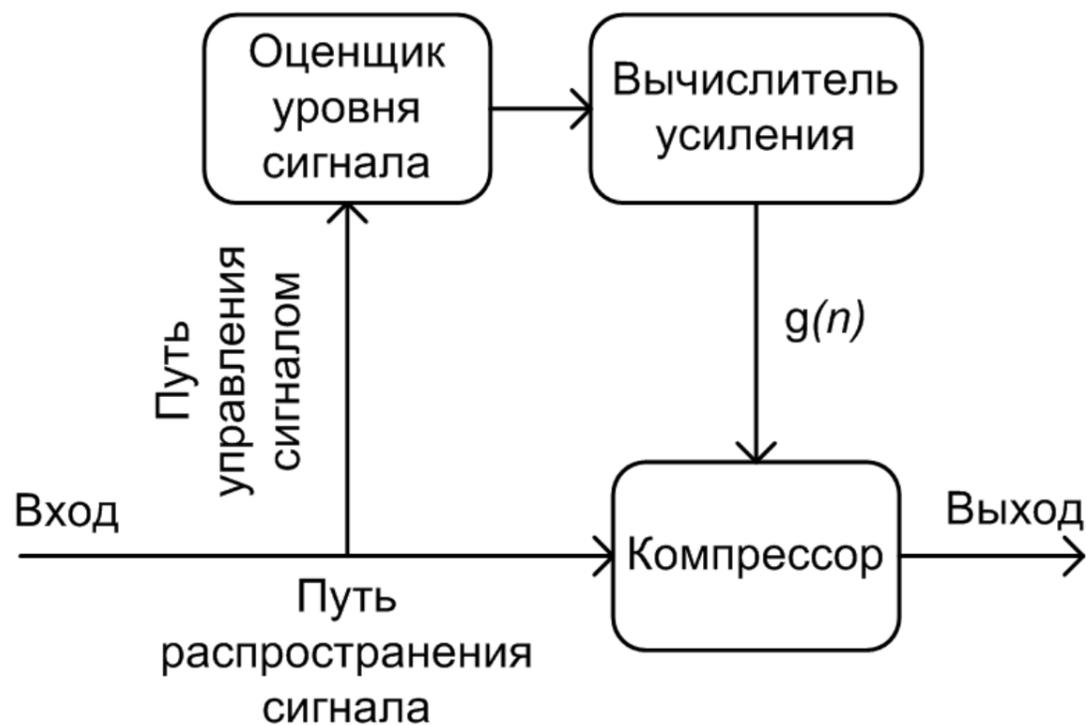
10. Компенсация нарушения ощущения громкости

Установлено, что тихие звуки усиливаются здоровой улиткой на 50-60 дБ, а громкие не усиливаются. Изменение коэффициента усиления физиологически обеспечивается наружными волосковыми клетками. При потере слуха более чем на 60дБ характеристика улиткового усилителя превращается в линейную.



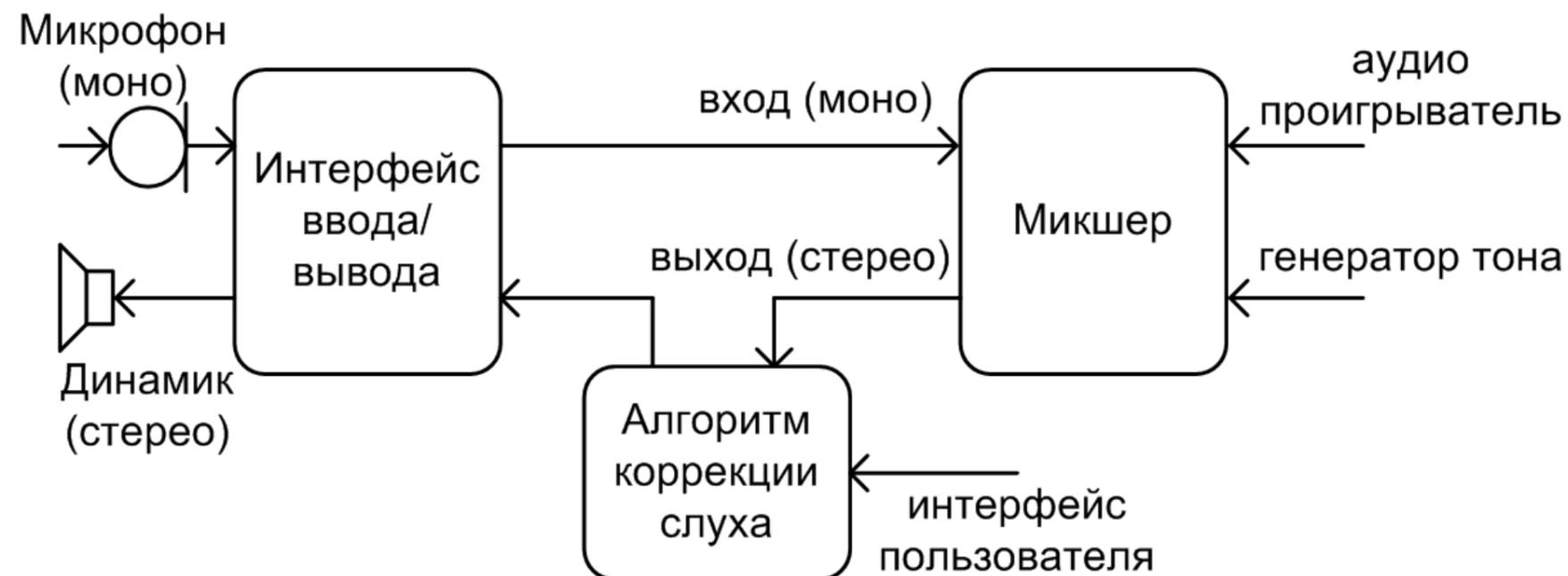
11. Компрессия сигнала

Основным назначением компрессора является усиление тихих звуков, и в то же время предохранение от чрезмерного усиления громких звуков. Сперва измеряется текущий уровень сигнала, а затем вычисляются требуемые коэффициенты усиления для данного уровня $g(n)$, исходя из степени потери слуха.



12. Схема реализации СА на мобильной платформе

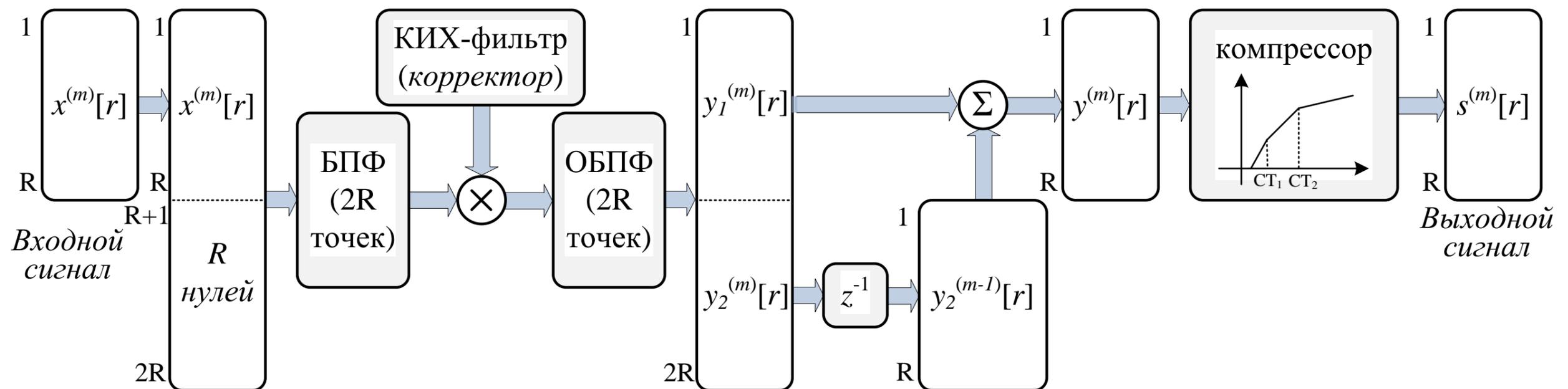
В качестве мобильной платформы используется смартфон компании Apple семейства iPhone 5. Программное приложение устанавливает потоковую передачу цифрового сигнала от микрофона к динамику. Внутренняя организация функциональных блоков iPhone для обработки аудио позволяет применить алгоритм коррекции слуха к сигналу, формируемому на выходе микшера.



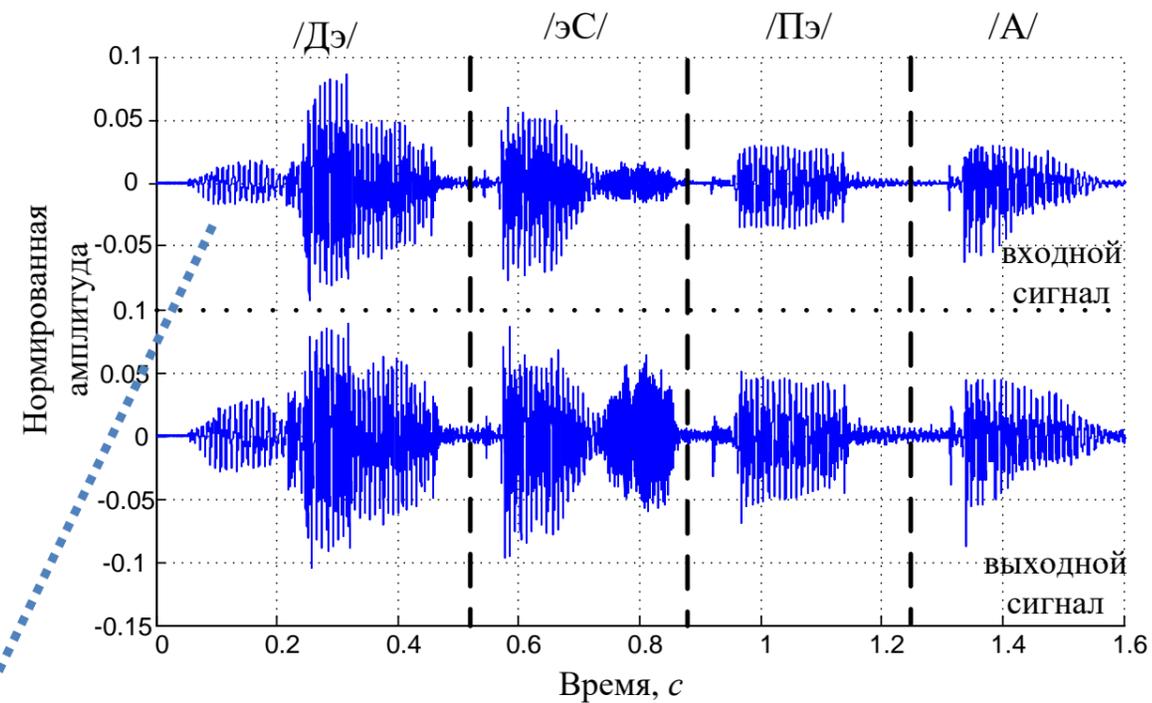
13. Алгоритм обработки сигнала

Входной сигнал $x[n]$ разбивается на кадры $x^{(m)}[r]$: $x^{(m)}[r] = x[mR + r]$, где m – номер кадра, $r = 1, \dots, R$ – индекс отсчета внутри кадра, кадр расширяется последовательностью из R нулевых отсчетов.

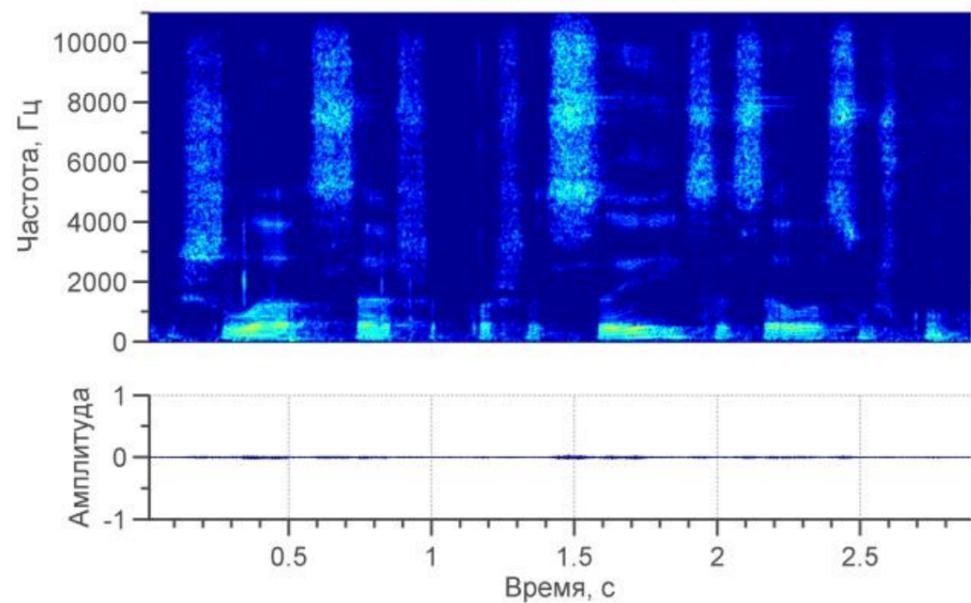
Текущий результат фильтрации формируется путем суммирования результатов свертки смежных фреймов $y^{(m)}[r] = y_1^{(m)}[r] + y_2^{(m-1)}[r]$.



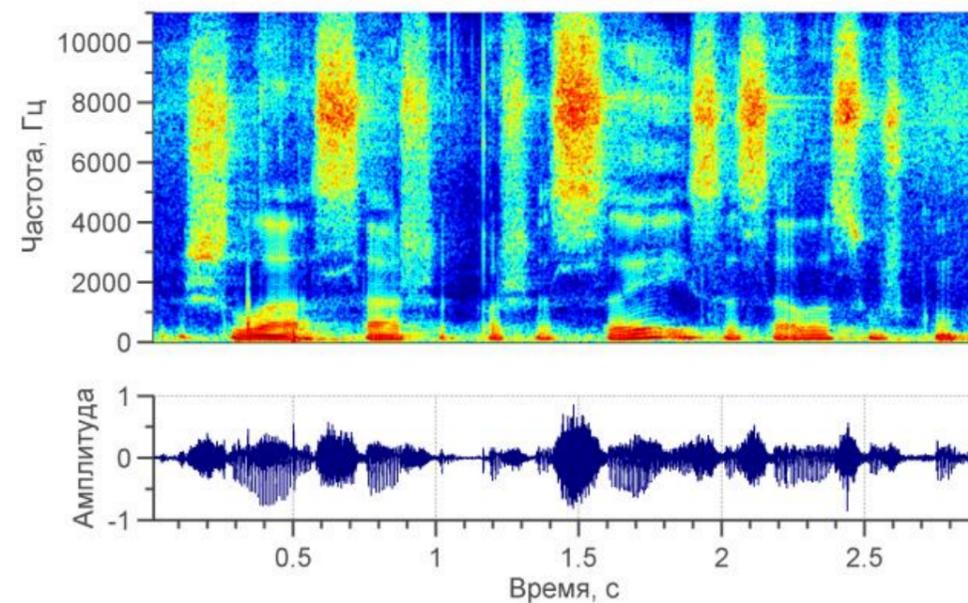
14. Результат обработки речевого сигнала



Входной сигнал



Выходной сигнал



15. Заключение

Предложена схема обработки сигнала с малой алгоритмической задержкой, позволяющая выполнять коррекцию слуха при нейросенсорной тугоухости и учитывающая особенности мобильной вычислительной платформы.

В схеме используется линейное частотно-зависимое усиление, а также широкополосная компрессия динамического диапазона сигнала.

В работе приведены результаты обработки речевых сигналов с использованием предложенного алгоритма коррекции слуха.

Реализация предложенного подхода на базе мобильного устройств позволила предложить доступную альтернативу специализированным СА.