

УДК 621.3

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Шишкина А.Ф., Волкова Т.А., Валеев А.Р.

Уфимский государственный авиационный технический университет

В статье рассматриваются современные технические решения в области шумоподавления, применяемые в локальных электроакустических системах (на примере слуховых аппаратов). Описываются принципы работы и особенности технологий ведущих фирм, занимающихся разработками в данной области.

Ключевые слова: электроакустическая система, шумоподавитель, цифровое подавление шумов, слуховой аппарат, система шумоподавления.

MODERN SOLUTIONS FOR NOISE REDUCTION IN THE ELECTRIC ACOUSTIC SYSTEM

Shishkina A.F., Volkova T.A., Valeev A.R.

Ufa State Aviation Technical University

The article deals with modern technical solutions in the field of noise reduction applied to the local electroacoustic systems (for example, hearing aids). The principles of operation and features of technology's leading companies involved in developments in this area.

Keywords: electro-acoustic system, squelch, digital noise reduction, acoustic, noise reduction system.

Повышение шумозащищенности усилительных устройств является важной проблемой для электроакустических систем (ЭАС), а в особенности для локальных ЭАС и аппаратов индивидуального пользования. Когда человеку приходится использовать электроакустический аппарат постоянно, использование устройств шумоподавления играет особо важную роль. Поэтому современные технологии шумоподавления оказались наиболее развиты в области слуховых аппаратов.

Решение проблемы с шумами неразрывно связано с повышением устойчивости электроакустических систем. Одной из основных причин, приводящих к самовозбуждению системы, является наличие акустической обратной связи (АОС), которая возникает, когда усиленный звук с электроакустического преобразователя системы через внешнюю среду вновь возвращается на приемник звука. Наличие акустической обратной связи приводит к

ухудшению качества звучания речевого сигнала на выходе электроакустической системы и появлению «свистов».

Большинство шумов имеют широкий спектр, поэтому при наличии акустической обратной может найтись такая составляющая в спектре шума, при которой выполняется условие баланса фаз и нарушается устойчивость системы [1]. Наличие шумоподавителя уменьшает вероятность возникновения самовозбуждения электроакустической системы.

Первые алгоритмы цифрового шумоподавления в слуховых аппаратах (СА) были основаны на анализе модуляций сигнала. Данный способ обработки показывает высокую эффективность при выделении речи в широкополосном стационарном шуме. В те моменты времени, когда речь отсутствует, подавление шума осуществляется уменьшением коэффициента усиления в соответствующем канале.

Однако алгоритм, основанный на идентификации модуляций, нередко вызывает ошибочное срабатывание системы подавления шумов. На рис. 1 показано, как две различные системы, построенные по технологии анализа модуляций, влияют на шум и на речь на фоне шума [2, 3]. Обе системы в сравнении с необработанным сигналом снижают уровень обработанного сигнала, причем это касается и шума, и речи. При использовании данной технологии пользователь может потерять важную речевую информацию из-за снижения уровня речи. Восприятие речевого сигнала будет затруднено, а качество звука снизится. Чтобы избежать этого, эффективнее будет применять более точный метод шумоподавления, который срабатывает только на выборочных частотах и в тех участках диапазона, где соотношение сигнал/шум небольшое.



Рис. 1. Работа систем шумоподавления, основанных на модуляции

Одним из лидеров в области разработки и внедрения новых технологий является компания **ReSound** [4]. В новейших СА этой компании используется система шумоподавления под названием NoiseTracker II. Как известно [5], разборчивость речи зависит от соотношения речь/шум (Speech to Noise Ratio). Например, разборчивость лучше в тихой обстановке и гораздо хуже, когда присутствует фоновый шум. Чем больше процент шума, тем меньше коэффициент соотношения и, соответственно, хуже разборчивость. Однако технически

сложно реализовать систему, которая могла бы в постоянно меняющейся звуковой обстановке отделить шум от речи, особенно если нежелательный шум состоит из голосов. Тем не менее, система NoiseTracker II точно воздействует на нежелательный шум даже в таких сложных звуковых ситуациях, как речь на фоне других разговоров.

В основе системы шумоподавления NoiseTracker II лежит *метод спектральной субтракции* (вычитания), благодаря которому отделяется речь от шума (даже речеподобного), и уменьшается интенсивность только шумовой составляющей сигнала. Анализируя уровни шума и речи, алгоритм постоянно обновляет полосо-зависимое соотношение речь/шум, которое является основополагающим для работы функции шумоподавления.

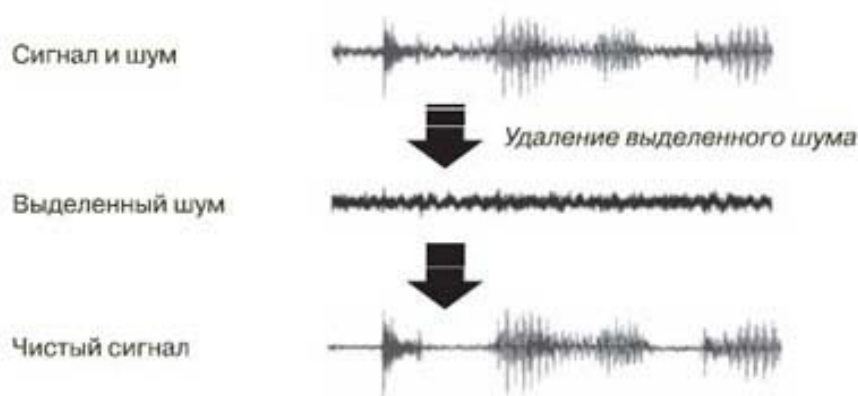


Рис. 2. Работа системы шумоподавления NoiseTracker II

Самой сложной акустической ситуацией для системы шумоподавления слухового аппарата является речь на фоне посторонних разговоров. Система NoiseTracker II построена так, что сможет уменьшить уровень речевого фона, не затрагивая при этом полезный сигнал.

В 2008 году компания ReSound предложила уникальную технологию под названием «Оптимизатор окружения», которая позволяла аппарату автоматически изменять громкость в зависимости от окружающей акустической обстановки. Основой для работы технологии стало большое количество статистических данных, собранных за время работы слуховых аппаратов с внедренной функцией записи данных о настройках и об окружающей обстановке. Анализ статистических данных позволил выявить ситуации, наиболее часто встречающиеся пользователям слуховых аппаратов. Под эти ситуации и были подобраны усредненные настройки новых аппаратов. Также пользователь получил возможность вносить корректировки в базовые настройки СА (самостоятельно или с помощью специалиста). В настоящее время усовершенствованная технология «Оптимизатор окружения II» работает синхронно с системой шумоподавления аппаратов, благодаря чему пользователь может

изменять уровень шумоподавления в различных акустических ситуациях как автоматически, так и вручную.

Отметим, что для быстрого адаптивного анализа входного сигнала и применения метода спектральной субстракции в слуховых аппаратах фирмы ReSound устанавливается мощный процессор ReSound Range.

В компании *Siemens* [6] разработали принципиально новый алгоритм цифрового подавления шумов DNR (Digital Noise Reduction) на базе фильтра Винера, который направлен на подавление широкополосных постоянных шумов. Алгоритм быстродействующий, поэтому он подавляет шумы в речевых паузах. А для подавления кратковременных раздражающих шумов компания разработала специальную систему SoundSmoothing, принцип работы которой проиллюстрирован на рис. 3.



Рис. 3. Иллюстрация принципа работы алгоритма SoundSmoothing

Система подавления кратковременных шумов SoundSmoothing сначала определяет спектральные и временные характеристики входного сигнала (блок спектрально-временного анализа). Информация о спектральном составе входного сигнала позволяет низкочастотные и высокочастотные кратковременные шумы. При этом те частотные диапазоны, в которых кратковременные шумы не обнаружены, не затрагиваются.

Так как шумы имеют короткую длительность, время реакции системы SoundSmoothing должно быть как можно меньше, поэтому временные характеристики сигнала анализируются с очень высоким разрешением и быстродействием (время обработки менее одной миллисекунды).

После проведения спектрально-временного анализа система определяет, относится ли данный сигнал к речевому (блок анализа входного сигнала). При этом используются заложенные в системе модели речи, с которыми производится сравнение. Затем выделяются неречевые компоненты входного сигнала и только для них рассчитывается коэффициент ослабления. Система настроена так, что чем меньше длительность шума, тем больше он ослабляется. И на последнем этапе работы системы SoundSmoothing происходит «реконструкция» выходного сигнала.

Каждый пользователь в индивидуальном порядке может в настройках СА установить максимальную величину ослабления и порог обнаружения шума. Шумы, уровень которых ниже порогового, системой SoundSmoothing подавляться не будут.

На рис. 4 и 5 показано действие системы SoundSmoothing на звон посуды, в котором много кратковременных шумов. Уменьшена амплитуда пиков до 40 дБ (рис. 4), так что после обработки (рис. 5) эти звуки вызывают гораздо меньше раздражения.

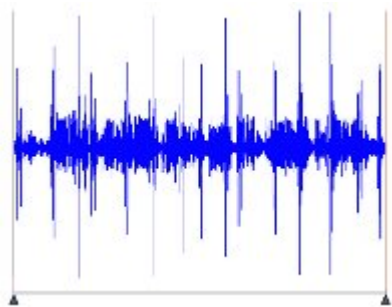


Рис. 4. Звук при отключенном
SoundSmoothing



Рис. 5. Звук при работающем
SoundSmoothing

Отечественная компания **Исток-Аудио** [7] также постоянно совершенствует технологии, применяемые в слуховых аппаратах. В СА серии «АРГО» реализовано адаптивное четырехуровневое подавление шума в 128 частотных полосах (ANR 3.1). В основе технологии лежат два базовых принципа: независимый мониторинг уровня шума в каждой из 128 частотных полос и улучшенная психоакустическая модель. Рассмотрим базовые принципы подробнее. Весь частотный диапазон, с которым работает СА, делится на 128 частотных полос, в каждой из которых производится независимая оценка соотношения сигнал/шум. На основе оценки происходит коррекция усиления в данной частотной полосе. Разбиение частотного диапазона на большое количество узких полос позволяет точнее удалять шум, оставляя при этом неповрежденной речь. На рис. 6 представлен мгновенный спектр голоса, наложенный на спектр шума вентилятора. Спектры полезного сигнала и шума сильно пересекаются, так что понимание речи в шуме крайне затруднено.

Разобьем спектр звукового сигнала на 8 полос. В каждой полосе уровень речи и шума постоянно изменяются, но алгоритм позволяет вычислить соотношение сигнал/шум в каждой полосе по среднему значению уровня громкости речи и шума. На рис. 7 в увеличенном виде показана полоса X.

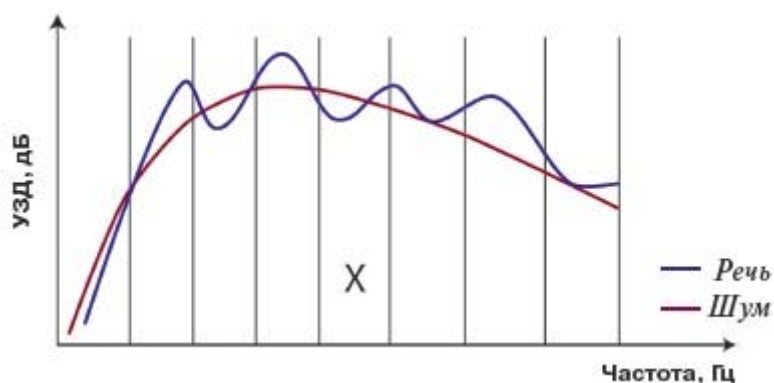


Рис. 6. Мгновенные спектры голоса (синий) и шума вентилятора (красный). Спектры пересекаются, что затрудняет понимание речи в шуме

Несмотря на то, что на высокочастотном участке полосы (справа на рис. 6) речь громче шума, среднее значение соотношения сигнал/шум в полосе – низкое, а значит, усиление в этой полосе будет снижено. Понятно, что усиление важной речевой информации также будет уменьшено.

Увеличение числа частотных полос шумоподавления приводит к более точному шумоподавлению. Если разделить ту же полосу X еще на четыре участка (см. рис. 8), то в первых трех узких частотных полосах с низким соотношением сигнал/шум усиление будет снижено. Зато в четвертой полосе будет преобладать речевая информация, поэтому усиление останется на прежнем уровне для сохранения комфортного слушания и улучшения разборчивости.

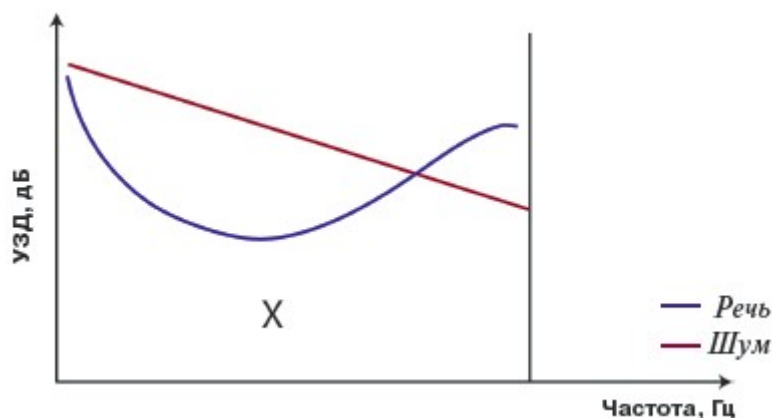


Рис. 7. Полоса в увеличенном виде.

Среднее соотношение сигнал/шум в полосе низкое – усиление снижено.

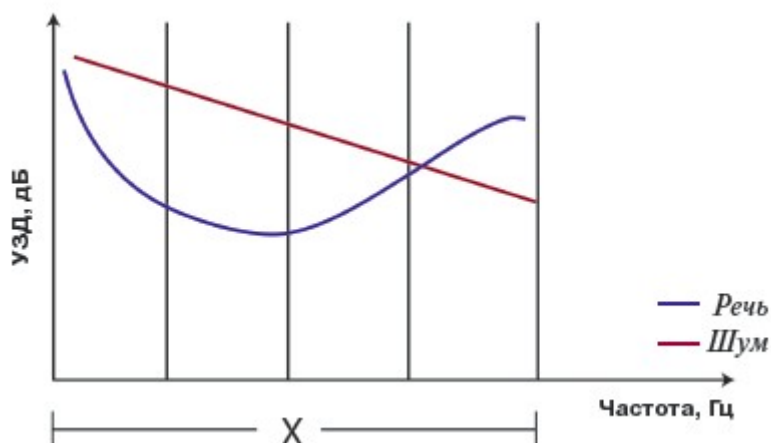


Рис. 8. Полоса, в увеличенном виде и разделенная на четыре более узких участка. В первых трех частотных полосах соотношение сигнал/шум низкое – усиление снижено, а в четвертой полосе – усиление остается на прежнем уровне

Таким образом, 128-полосная система подавления шума обеспечивает сохранение важной речевой информации и позволяет заглушать шум только там, где он мешает восприятию речи.

Дополнительную эффективность системе шумоподавления компании Исток-Аудио добавляет продвинутая психоакустическая модель, предназначенная для обнаружения слышимого шума и уменьшения искажений звука в результате работы системы шумоподавления. Напомним, что психоакустика – это область науки, граничащая между физикой и психологией, которая изучает слуховые ощущения человека при воздействии на него звука. Она изучает в том числе и особенности восприятие звуковых волн головным мозгом человека.

В современных слуховых аппаратах других компаний преимущественно используются многоканальные системы шумоподавления с несколькими микрофонами разной направленности. Например, компания **Phonak** [8] продолжает разрабатывать и совершенствовать систему шумоподавления с высоким разрешением NoiseBlock. Многоканальность позволяет измерять отношение сигнал-шум в каждом канале и избирательно устранять шум, сохраняя при этом хороший уровень слышимости и разборчивости речи.

Все вышеперечисленные системы шумоподавления требуют применения микропроцессоров и сложного программного обеспечения для быстрого статистического анализа амплитудного спектра поступающих сигналов в одном или в нескольких каналах.

Такой подход резко увеличивает число комплектующих элементов, входящих в тракт усиления аналогового сигнала, что приводит к увеличению стоимости аппарата, повышению энергопотребления, а также к возрастанию его массы и размеров. В тех случаях, когда на первый план выступает экономичность и низкая себестоимость аппарата, целесообразно использовать шумоподавители на КМОП-структурах [9].

Следует также отметить, что сфера применения рассмотренных технологий не ограничивается слуховыми аппаратами [10, 11].

Список литературы

1. Шишкина А.Ф., Галиев А.Л., Галиева Р.Г. Частные критерии устойчивости электроакустических систем // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT-2013): сб. ст. III международной заочной научно-технической конференции. / Поволжский гос. ун-т сервиса. – Тольятти: Изд-во ПВГУС, 2013. – 424 с. – С. 391-394.
2. Dillon H. Hearing Aids. – Thieme, 2001. – 504 p.
3. Шишкина А.Ф., Волкова Т.А., Валеев А.Р. Обзор современных технологий шумоподавления в локальных электроакустических системах // Электротехнические комплексы и системы: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 110-летию А.М. Бамдаса / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2015. – 381 с. – С. 251-255.
4. <http://www.gnresound.ru/>
5. Шишкина А.Ф. Элементы и устройства повышения устойчивости электроакустических систем (развитие теории, исследования и разработка): автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Уфимский государственный авиационный технический университет. – Уфа, 2011. – 159 с.
6. <http://www.siemens-hearing.ru/>
7. <http://www.istok-audio.com/>
8. <http://www.phonak.com>
9. Шишкина А.Ф., Галиев А.Л. Шумоподавитель для электроакустических систем с линейной дельта-модуляцией // Современные проблемы науки и образования в техническом вузе: материалы II Международной научно-практической конференции (25-27 июня 2015 года, г. Стерлитамак). Ч.1. – Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2015. – 274 с. – С. 256-260.

10. Кондратьев К.В., Непомнящий О.В., Шишкина А.Ф., Сергеевич В.Н. Адаптивная компенсация помех обратного акустического тракта в процессе эксплуатации конференц-систем // Приборы и системы: управление, контроль, диагностика. – 2014. – № 3. – С. 53-59.

11. Шишкина А.Ф., Ликонцев А.Н., Галиев А.Л. Об одном способе подавления шумов в переговорных устройствах // Авиакосмическое приборостроение. – 2015. – № 10. – С. 31-35.