

УДК 621.395

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ШУМОВ НА ПЕРВИЧНЫЕ КОДЕКИ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ

В. Т. Дмитриев, к.т.н., доцент кафедры РУС РГРТУ; vol77@rambler.ru

А. Ф. Янак, магистрант РГРТУ; ya6ik1@list.ru

Рассмотрено воздействие акустических шумов на современные первичные кодеки речевых сигналов. Целью работы является исследование влияния акустических шумов на весь диапазон известных первичных кодеков речевых сигналов. Проведено экспериментальное исследование влияния различных акустических шумов на весь диапазон известных кодеков речевых сигналов. Эксперимент состоит в том, что на речевой сигнал накладывается акустический шум, и смесь поступает в кодек, где она кодируется и восстанавливается. Определено качество восстановленного сигнала на выходе первичных кодеков при действии акустических шумов. Произведен анализ результатов, и построены экспериментальные зависимости качества восстановленного речевого сигнала от отношения сигнал-шум для различных кодеков речевых сигналов. Предложены рекомендации по применению низкоскоростных, среднескоростных и высокоскоростных кодеков речевых сигналов в условиях действия акустических шумов с различным отношением сигнал-шум. Так, для узкополосных шумов может быть рекомендован кодек G 729a 8 кбит/с, для широкополосных шумов – G 728i 16 кбит/с и для импульсных шумов – G 726 24 кбит/с.

Ключевые слова: акустические шумы, первичное кодирование, речевые сигналы, передача речевой информации, кодеки речевых сигналов.

DOI: 10.21667/1995-4565-2016-56-2-38-44

Введение

Использование цифровых методов представления, обработки и передачи информации приводит к многократному увеличению занимаемой полосы частот и соответственно к значительному увеличению избыточности передачи информационных сообщений [1]. Под информационными сообщениями обычно понимают речь, различные виды изображений, мультимедиа и т.д. Решение проблемы лежит в области разработки эффективных методов цифрового преобразования – первичного кодирования речевых сигналов (РС).

Поскольку речь является наиболее распространенным сообщением в телекоммуникационных системах, вопросы первичного кодирования речи являются наиболее актуальными [2].

Теоретическая часть

Анализ существующих и создание новых, более эффективных и надежных первичных кодеков РС является важным и перспективным направлением научных исследований и разработок [1, 3], что обуславливает актуальность данной работы.

Совершенствование алгоритмов первичного кодирования РС обусловлено развитием инфор-

мационных технологий. Многочисленные приложения (системы пакетной передачи информации, мобильные системы радиосвязи) требуют дальнейшего развития алгоритмов первичного кодирования и передачи РС.

Существующие системы связи в основном функционируют в условиях действия различных акустических шумов (АШ), которые в той или иной степени присутствуют практически всегда и везде [4]. Например, на транспорте, в бытовых условиях, в местах скопления большого числа людей и т. д. Зачастую устранить источник или уменьшить уровень АШ не представляется возможным. Например, при сильном ветре, при переговорах в производстве, в кабине вертолета и т.д. В качестве решения данной проблемы можно использовать в системах связи, кодеки, устойчивые к действию АШ. В связи с этим возникает необходимость исследования степени влияния различных АШ на различные кодеки, используемые в системах передачи РС и разработке адаптивных к АШ алгоритмов кодирования РС. Исследования в данном направлении проводились и ранее [4, 5, 6, 7, 8]. Наиболее полно влияние АШ на высокоскоростные кодеки РС рассмотрено в работах [4, 7, 8]. В то же время авторам не известны исследования влияния АШ

на низкоскоростные кодеки РС. Поэтому необходимо исследовать влияние АШ на все известные современные кодеки РС (низкоскоростные, среднескоростные, высокоскоростные).

Описание эксперимента

Объектом исследования в данной работе являются первичные кодеки речи при влиянии ряда АШ с различным отношением сигнал-шум (ОСШ) при воздействии акустических шумов.

Для исследований были выбраны наиболее часто используемые в настоящее время первичные кодеки РС: LBRAMR 1; 1,2; 2; 2,4 кбит/с; MMBE 1,2; 2,4 кбит/с; RMMBE 2,4 кбит/с; ICELP 4,8; 6; 8 кбит/с; G.723.1 5,3; 6,3 кбит/с; G.729a 8 кбит/с; G.728i 16 кбит/с; G.726 16; 24; 32; 40 кбит/с; G.722 48; 56; 64 кбит/с.

Данные кодеки используются во всех основных видах телекоммуникационных систем. Так, кодек G.723.1 был выбран как базовый для приложений IP-телефонии. Данный кодек обеспечивает работу на двух скоростях — 5,3 и 6,3 кбит/с и поддерживает возможность переключения скоростей. Возможно также изменение рабочей скорости с использованием прерывистой передачи и заполнение шумом пауз. Кодер G.723.1 оптимизирован для сжатия речи с высоким качеством на установленной скорости при ограниченной полосе частот [9, 10].

Кодек G.729 очень популярен в приложениях передачи речи по сетям Frame Relay. Он использует алгоритм CS-ASELP [11, 12].

Кодек G.726 является стандартом ITU-T адаптивной импульсно-кодовой модуляции и описывает передачу голоса со скоростью 16, 24, 32 и 40 кбит/с. G.726 замещает собой стандарты G.721 и G.723. Используется на международных линиях связи в телефонных сетях. Он также является стандартным кодеком, используемым в беспроводных телефонах системы DECT [13, 14].

Вокодер LBRAMR является модификацией алгоритма AMR со скоростью передачи 1...2,4 кбит/с и применяется в системах связи специального назначения [15].

Вокодер MMBE основан на классической LPC (Linear Predictive Coding) модели и использует MMBE (Mixed Multi-Band Excitation) модель для сигнала возбуждения, что обеспечивает хорошую передачу всех РС, включая тональные, шумовые и смешанные компоненты речевого спектра. Данный вокодер может быть использован в приложениях, где требуется высокая степень сжатия РС: мультимедиа, автоответчики, портативные устройства, интернет, конференции, регистрация переговоров и т. д. [15].

Как видно, исследуемые кодеки охватывают

весь диапазон скоростей (1...64 кбит/с) известных систем передачи РС.

Все АШ можно классифицировать на три группы: широкополосные (самолет, музыка, фен), узкополосные (чайник, стиральная машина, двигатель), импульсные (поезд). Также в эксперименте использовались искусственно сгенерированные АШ, являющиеся нормальным процессом: импульсный шум, широкополосный шум, узкополосный шум (с полосой 0.5 кГц со смещением центральной частоты по спектру сигнала).

Для оценки качества речи и узнаваемости голоса диктора использовались семь тестовых акустически взвешенных фраз, приведенных в ГОСТ Р 50840-95 [16]. Речевой материал был начитан десятью дикторами (3 женщины и 7 мужчин). Запись РС осуществлялась в специальном помещении кабинетного типа (с размерами 5,7*2,9*3 м и временем реверберации порядка 350 мс) при наличии естественного фонового шума слабого уровня. Для записи использовался профессиональный диктофон Olympus LS-10 (Linear PCM recorder), обеспечивающий возможность записи РС в формате WAV со следующими параметрами: частота дискретизации – 44,1 кГц; разрядность квантования – 16 бит; тип кодирования – ИКМ.

Диктофон был установлен на расстоянии 0,5 м перед диктором на уровне лица.

Структурная схема проведения исследований показана на рисунке 1.

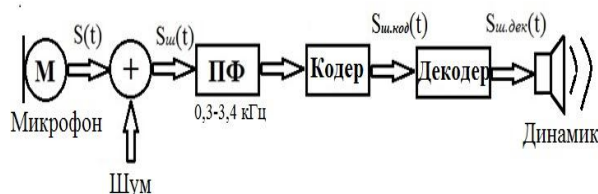
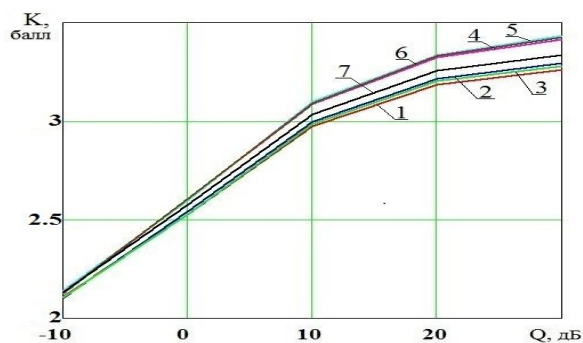


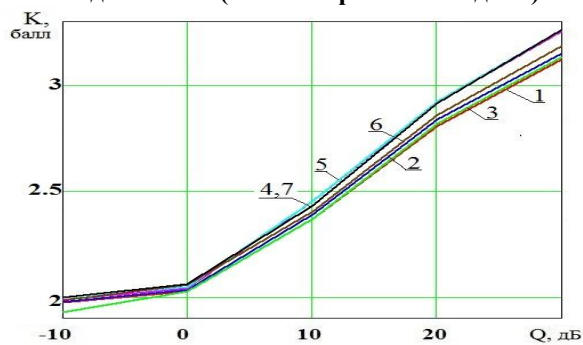
Рисунок 1 – Структурная схема получения субъективной оценки качества речи

На рисунке 1 используются следующие обозначения: М – микрофон (или другое устройство записи РС), ПФ – полосовой фильтр.

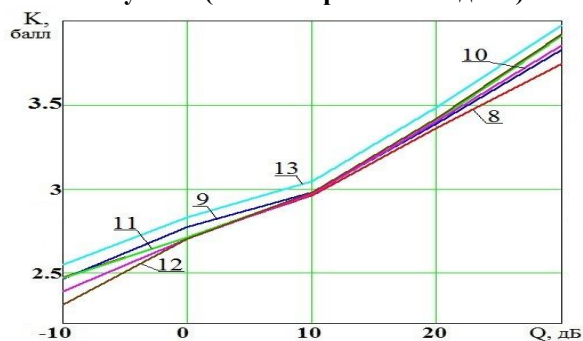
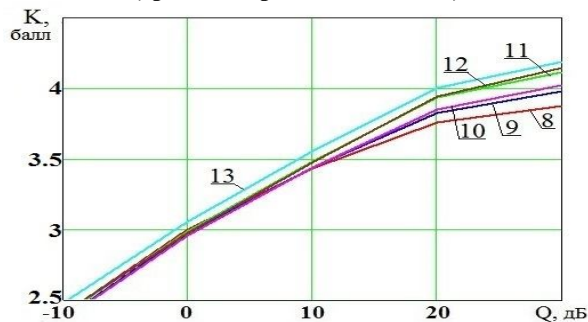
Записанная на диктофон фраза преобразуется программным конвертором с частотами дискретизации 8 кГц или 16 кГц и разрядностями квантования 8 или 16 бит. Далее на РС накладывается АШ с определенным уровнем, чтобы обеспечить требуемое ОСШ (-10, 0, 10, 20, 30 дБ). Полученная смесь поступает на ПФ с полосой 0,3-3,4 кГц и после чего поступает на вход кодера, где происходит кодирование РС исследуемым первичным кодером в соответствии с исследуемым алгоритмом кодирования. Затем сигнал восстанавливается в декодере.



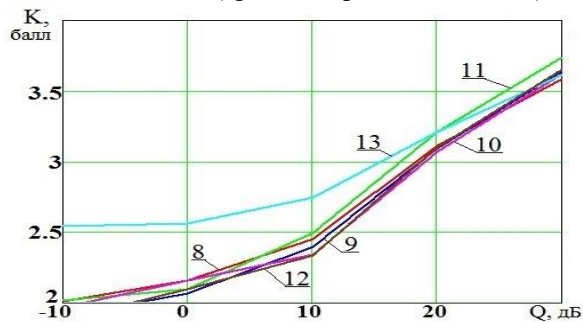
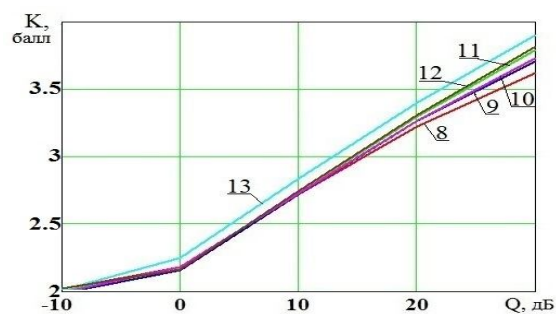
а - двигатель (низкоскоростные кодеки)



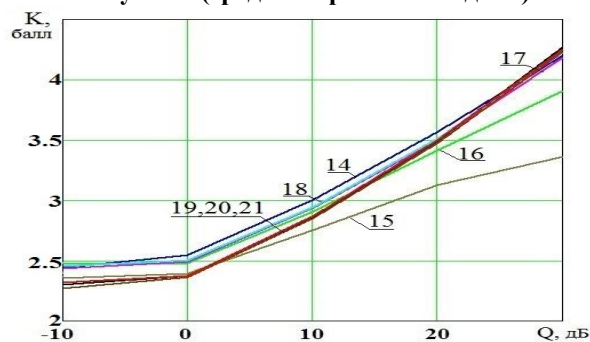
б - музыка (низкоскоростные кодеки)

в - искусственный узкополосный (0.5 - 1 кГц)
(среднескоростные кодеки)

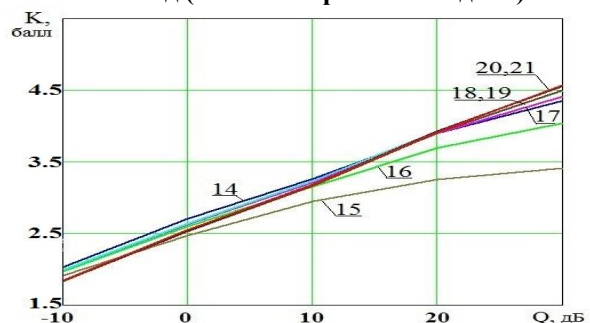
г - двигатель (среднескоростные кодеки)

д - искусственный импульсный
(среднескоростные кодеки)

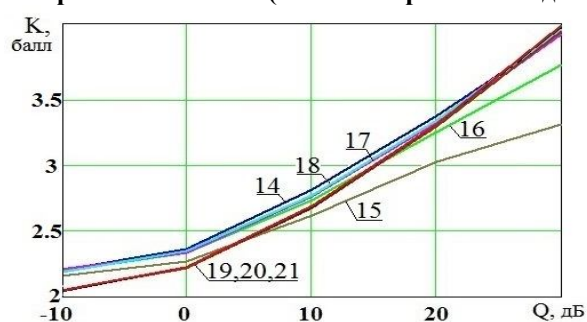
е - музыка (среднескоростные кодеки)



ж - поезд (высокоскоростные кодеки)



з - стиральная машина (высокоскоростные кодеки)



и - фен (высокоскоростные кодеки)

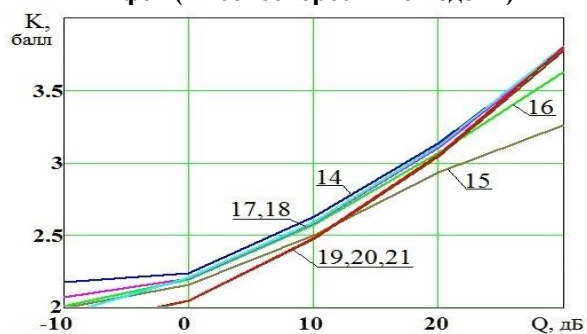
к - искусственный широкополосный
(высокоскоростные кодеки)

Рисунок 2 – Зависимость качества речи от ОСШ

Восстановленный РС поступает на акустические колонки, и в соответствии с ГОСТ Р 50840-95 производится оценка качества речи в баллах десятью аудиторами.

Данные исследования были проведены для всех (21) исследуемых кодеков, для десяти фраз, десяти дикторов при действии каждого вида АШ с различными уровнями ОСШ, после чего было проведено усреднение по всем дикторам и аудиторами и были построены зависимости качества восстановленного РС от ОСШ для исследуемых акустических шумов.

Дополнительно, для сравнения было произведено исследование оценки качества РС без влияния АШ.

Результаты экспериментальных исследований

В результате исследований были получены экспериментальные зависимости, отражающие общий средний балл для каждого кода РС при влиянии описанных выше АШ с различным уровнем. Графики наиболее характерных зависимостей показаны на рисунке 2.

При действии шума двигателя на РС на входе низкоскоростных кодеков наилучшее качество из всех исследованных кодеков обеспечивали кодеки LBRAMR 2 кбит/с (рисунок 2, а, кривая 4), LBRAMR 2.4 кбит/с (рисунок 2, а, кривая 5), MMBE 2.4 кбит/с (рисунок 2, а, кривая 6). У кода RMMBE (рисунок 2, а, кривая 7) качество ниже. А наихудшее качество обеспечивают кодеки LBRAMR 1.2 кбит/с (рисунок 2, а, кривая 2), MMBE 1.2 кбит/с (рисунок 2, а, кривая 3) и LBRAMR 1 кбит/с (рисунок 2, а, кривая 1). При значении ОСШ -10 дБ у всех исследованных кодеков примерно одинаковое качество. Учитывая это, при действии шума двигателя следует использовать кодек LBRAMR 2 кбит/с в случае, когда ОСШ больше 0 дБ. При меньших ОСШ целесообразно использовать кодек LBRAMR 1 кбит/с, так как при том же качестве у него скорость меньше, чем у остальных.

При действии шума двигателя на РС на входе среднескоростных кодеков наилучшее качество обеспечивает кодек G.729a (рисунок 2, г, кривая 13) во всем диапазоне значений ОСШ. В диапазоне от -10 дБ до 10 дБ остальные кодеки показывают одинаковое качество. При ОСШ больше 10 дБ качество у кодеков G.723.1 6.3 кбит/с (рисунок 2, г, кривая 11) и ICELP 8 кбит/с (рисунок 2, г, кривая 12) выше, а у ICELP 6 кбит/с (рисунок 2, г, кривая 10) и G.723.1 5.3 кбит/с (рисунок 2, г, кривая 9) ниже. Худшее качество обеспечивает кодек ICELP 4.8 кбит/с (рисунок 2, г, кривая 8). Поэтому в данных условиях рекомендуется

использовать кодек G.729a.

При действии шума двигателя на РС на входе высокоскоростных кодеков кодек G.726 16 кбит/с (кривая 15) обеспечивает наихудшее качество на всем диапазоне значений ОСШ. При ОСШ меньше 0 дБ лучшее качество обеспечивают кодеки G.728i (кривая 14), G.726 24 кбит/с (кривая 16) и G.726 32 кбит/с (кривая 17). При ОСШ 10 дБ кодек G.726 24 кбит/с начинает проигрывать остальным. А при дальнейшем увеличении ОСШ наилучшее качество обеспечивают кодеки G.722 56 кбит/с (кривая 20) и G.722 64 кбит/с (кривая 21), им немного уступают кодеки G.726 40 кбит/с (кривая 18) и G.722 48 кбит/с (кривая 19). Следовательно, в диапазоне от -10 дБ до 10 дБ рекомендуется использовать кодек G.728i, а при ОСШ больше 10 дБ – кодек G.722 56 кбит/с.

При действии шума музыки на РС на входе низкоскоростных кодеков в диапазоне от 10 дБ до 30 дБ наилучшее качество обеспечивают кодеки LBRAMR 2 кбит/с, LBRAMR 2.4 кбит/с и RMMBE. А в диапазоне -10 – 10 дБ все исследуемые кодеки обеспечивают примерно одинаковое качество (рисунок 2, б). Рекомендуется использовать кодек LBRAMR 2 кбит/с во всем диапазоне исследуемых значений ОСШ.

При действии шума музыки на РС на входе среднескоростных кодеков кодек G.729a обеспечивает наилучшее качество во всем исследуемом диапазоне значений ОСШ, за исключением -10 дБ. Остальные кодеки при ОСШ меньше 20 дБ показывают примерно одинаковое качество. С дальнейшим увеличением ОСШ кодеки G.723.1 6.3 кбит/с и ICELP 8 кбит/с обеспечивают качество, лучшее, чем кодеки ICELP 6 кбит/с и G.723.1 5.3 кбит/с. При ОСШ больше 0 дБ рекомендуется использовать кодек G.729a. При ОСШ меньше 0 дБ все кодеки обеспечивают примерно одинаковое качество (рисунок 2, е).

При действии музыки на РС на входе высокоскоростных кодеков рекомендуется использовать кодек G.726 16 кбит/с при ОСШ меньше 10 дБ и кодек G.728i в остальном исследуемом диапазоне.

При действии шума поезда на РС на входе низкоскоростных кодеков при ОСШ меньше 5 дБ целесообразно использовать кодек LBRAMR 1.2 кбит/с, при дальнейшем увеличении ОСШ лучшее качество обеспечивает кодек LBRAMR 2 кбит/с.

При действии шума поезда на РС на входе среднескоростных кодеков рекомендуется использовать кодек ICELP 4.8 кбит/с при ОСШ меньше 10 дБ, при дальнейшем увеличении ОСШ кодек G.729a обеспечивает наилучшее ка-

чество, немного уступают ему в качестве кодеки G.723.1 6.3 кбит/с и ICELP 8 кбит/с.

При действии шума поезда на РС на входе высокоскоростных кодеков рекомендуется использовать кодек G.728i во всем исследуемом диапазоне значений ОСШ (рисунок 2, ж).

При действии шума самолета на РС на входе низкоскоростных кодеков при ОСШ больше 0 дБ наилучшее качество обеспечивают кодеки LBRAMR 2 кбит/с, LBRAMR 2.4 кбит/с и MMBE 2,4 кбит/с. Соответственно в этом случае необходимо использовать кодек LBRAMR 2 кбит/с. А при ОСШ меньше 0 дБ все кодеки обеспечивают примерно одинаковое качество.

При действии шума самолета на РС на входе среднескоростных кодеков при ОСШ меньше 10 дБ все кодеки обеспечивают примерно одинаковое качество. Рекомендуется использовать кодек ICELP 4.8 кбит/с, так как он обеспечивает такое же качество, как и остальные кодеки, но при меньшей скорости. При других значениях ОСШ рекомендуется использовать кодек G.723.1 6.3 кбит/с.

При действии шума самолета на РС на входе высокоскоростных кодеков при ОСШ меньше 20 дБ рекомендуется использовать кодек G.728i. При больших значениях ОСШ рекомендуется использовать кодек G.726 40.

При действии шума стиральной машины на РС на входе низкоскоростных кодеков рекомендуется использовать кодек LBRAMR 1 кбит/с при ОСШ меньше 5 дБ, так как данный кодек выигрывает в скорости при одинаковом качестве. При ОСШ больше 5 дБ рекомендуется использовать кодек LBRAMR 2 кбит/с.

При действии шума стиральной машины на РС на входе среднескоростных кодеков на всем диапазоне значений ОСШ лучшее качество обеспечивает кодек G.729a.

При действии шума стиральной машины на РС на входе высокоскоростных кодеков при ОСШ меньше 20 дБ рекомендуется использовать кодек G.728i. При ОСШ больше 20 дБ рекомендуется использовать кодек G.726 40 кбит/с (рисунок 2, з).

При действии шума фена на РС на входе низкоскоростных кодеков во всем диапазоне значений ОСШ рекомендуется использовать кодек LBRAMR 2 кбит/с.

При действии шума фена на РС на входе среднескоростных кодеков при ОСШ больше 5 дБ целесообразно использовать кодек G.729a. При ОСШ меньше 5 дБ все исследуемые кодеки обеспечивают примерно одинаковое качество.

При действии шума фена на РС на входе высокоскоростных кодеков во всем диапазоне зна-

чений ОСШ рекомендуется использовать кодек G.728i (рисунок 2, и).

При действии шума чайника на РС на входе низкоскоростных кодеков при ОСШ меньше 0 дБ рекомендуется использовать кодек RMMBE. При ОСШ больше 0 дБ рекомендуется использовать кодек LBRAMR 2 кбит/с.

При действии шума чайника на РС на входе среднескоростных кодеков при ОСШ меньше 0 дБ у всех кодеков примерно одинаковое качество, и оно мало зависит от значения ОСШ. На этом диапазоне целесообразно использовать кодек ICELP 4.8 кбит/с, так как у него минимальная скорость. При ОСШ больше 0 дБ рекомендуется использовать кодек G.729a или кодек G.723.1 6.3 кбит/с, который выигрывает в скорости и при этом незначительно проигрывает в качестве.

При действии шума чайника на РС на входе высокоскоростных кодеков рекомендуется использовать кодек G.728i при ОСШ меньше 20 дБ. А при ОСШ больше 20 дБ можно использовать кодек G.722 56 кбит/с или кодек G.722 48 кбит/с, они обеспечивают примерно одинаковое качество.

При действии искусственно сгенерированного импульсного шума на РС на входе низкоскоростных кодеков при ОСШ меньше 15 дБ наилучшее качество обеспечивают кодеки LBRAMR 1 кбит/с и LBRAMR 1.2 кбит/с. При действии естественного импульсного шума (поезд) данные кодеки показывали наихудшее качество. Это можно объяснить тем, что шум поезда не является чисто импульсным АШ, в нем присутствует широкополосная составляющая. При ОСШ больше 15 дБ рекомендуется использовать кодек LBRAMR 2 кбит/с.

При действии искусственно сгенерированного импульсного шума на РС на входе среднескоростных кодеков при ОСШ меньше 20 дБ рекомендуется использовать кодек G.729a. Он значительно превосходит по качеству остальные кодеки. Однако при ОСШ больше 20 дБ преимуществом в качестве обладает кодек G.723.1 6.3 кбит/с (рисунок 2, д).

При действии искусственно сгенерированного импульсного шума на РС на входе высокоскоростных кодеков в диапазоне от -10 дБ до 0 дБ рекомендуется использовать кодек G.728i. В диапазоне от 0 дБ до 25 дБ рекомендуется использовать кодек G.726 24 кбит/с. При дальнейшем увеличении ОСШ лучшее качество обеспечивают кодеки G.728i, G.726 32 кбит/с и G.726 40 кбит/с.

Влияние остальных искусственно сгенерированных АШ идентично влиянию естественных АШ своего класса (рисунок 2, в, к).

Заключение

Таким образом, проанализировано влияние АШ на высокоскоростные, среднескоростные и низкоскоростные кодеки РС при действии различных видов АШ. Предложены рекомендации по использованию кодеков РС в различной шумовой обстановке. Так, для узкополосных шумов может быть рекомендован кодек G 729a 8 кбит/с, для широкополосных – G 728i 16 кбит/с и для импульсных – G 726 24 кбит/с.

Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований (номер договора №16-620544\16 от 11.05.2016) и Правительством Рязанской области.

Библиографический список

1. Шелухин О. И., Лукьянцев Н. Ф. Цифровая обработка и передача речи. М.: Радио и связь, 2000. 456 с.
2. Рабинер Л. Р., Шафер Р. В. Цифровая обработка речевых сигналов: пер. с англ. / под ред. М.В. Назарова, Ю.Н. Прохорова. М.: Радио и связь, 1981. 495 с.
3. Назаров М. В., Прохоров Ю. Н. Методы цифровой обработки и передачи речевых сигналов. М.: Радио и связь, 1985. 176 с.
4. Кириллов С. Н., Стукалов Д. Н. Помехоустойчивость кодеков зашумленных речевых сигналов // Электросвязь. 1995. № 12. С. 12-13.

лов // Электросвязь. 1995. № 12. С. 12-13.

5. Уидроу Б., Стринз С. Адаптивная обработка сигналов: пер. с англ. М.: Радио и связь, 1989. 440 с.

6. Коротаев Г. А. Некоторые аспекты линейного предсказания при анализе и синтезе речевого сигнала // Зарубежная радиоэлектроника. 1991. № 7. С. 31-51.

7. Кириллов С. Н., Стукалов Д. Н. Высококачественные кодеки с расширенной полосой речевого сигнала // Электросвязь. 1995. № 9. С. 12-14.

8. Кириллов С. Н., Стукалов Д. Н. Цифровые системы обработки речевых сигналов: учеб. пособие. Рязань: Рязан. гос. радиотехн. акад., 1995. 68 С.

9. Рекомендация МСЭ-Т G.723.1.

10. Кодек G.723.1 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.univers-spb.ru/technologys/voip.php?print=Y> (дата обращения 17.02.2016).

11. Рекомендация МСЭ-Т G.729a.

12. McQuerry S., McGrew K., Foy S. Cisco Voice over Frame Relay, ATM, and IP – Cisco Press, 2001. – 552p.

13. Рекомендация МСЭ-Т G.726.

14. Кодек G.726 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.voip-info.org/wiki/view/ITU%20G.726> (дата обращения 17.02.2016).

15. Кодек LBRAMR, MMBE [Электронный ресурс]. URL: <http://spiritdsp.com> (дата обращения 17.02.2016).

16. ГОСТ Р 50840-95 «Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости».

UDC 621.395

STUDY OF THE IMPACT OF ACOUSTIC NOISE ON PRIMARY CODEC SPEECH SIGNALS

V. T. Dmitriev, PhD (technical sciences), assistant professor, RSREU, Ryazan; vol77@rambler.ru
A. F. Yanak, graduate student, RSREU, Ryazan; ya6ik1@list.ru

Impact of acoustic noise on the modern primary codecs of speech signals is studied. The aim is to investigate the influence of acoustic noise for the entire range of known primary codec speech signals. The experimental study of influence of various acoustic noise on all range of the known codecs of speech signals is conducted. The experiment is as follows: acoustic noise was superimposed on speech signal and mix enters the codec where it is coded and restored. The quality of the restored signal at the output of the primary codecs at the influence of acoustic noise is defined. The analysis of results is made and the experimental dependencies of quality of restored speech signal from signal to noise relation for various codecs of speech signals are constructed. Recommendations about use of low-speed, medium-rate and high-speed codecs of speech signals in the conditions of action of acoustic noise with various relation a signal-to-noise are offered. Thus, for narrow-band noise codec G 729a 8 kbit / s can be recommended, for broadband noise - G 728i 16 kbit / s and for pulse noise - G 726 24 kbit / s.

Key words: acoustic noise, primary encoding, speech signals, transmission of voice information, voice codecs.

DOI: 10.21667/1995-4565-2016-56-2-38-44

References

1. **Sheluhin O. I., Luk'jancev N. F.** *Cifrovaja obrabotka i peredacha rechi* (Digital processing and transmission of speech). Moscow: Radio i svjaz', 2000, 456 p. (in Russian).
2. **Rabiner L. R., Shafer R. V.** *Cifrovaja obrabotka rechevyh signalov: Per. s angl* (Digital processing of speech signals) / Pod red. Nazarova M. V., Prohorova Ju. N. Moscow: Radio i svjaz', 1981, 495 p. (in Russian).
3. **Nazarov M. V., Prohorov Ju. N.** *Metody cifrovoj obrabotki i peredachi rechevyh signalov* (Methods of processing and transmitting digital speech signals.). Moscow: Radio i svjaz', 1985, 176 p. (in Russian).
4. **Kirillov S. N., Stukalov D. N.** Pomehoustojchivost' kodekov zashumlennyh rechevyh signalov. *Jelektrosvjaz'*. 1995, no. 12, pp 12-13 (in Russian).
5. **Uidrou B., Strinz S.** Adaptivnaja obrabotka signalov: Per. s angl. (Adaptive signal processing: transl. from engl.). Moscow: Radio i svjaz', 1989, 440 p. (in Russian).
6. **Korotaev G. A.** Nekotorye aspekty linejnogo predskazaniya pri analize i sinteze rechevogo signala. *Zarubezhnaja radiojelektronika*. 1991, no. 7 (in Russian).
7. **Kirillov S. N., Stukalov D. N.** Vysokokachestvennye kodeki s rasshirennoj polosoj rechevogo signala *Jelektrosvjaz'*. 1995, no. 9, pp. 12-14 (in Russian).
8. **Kirillov S. N., Stukalov D. N.** *Cifrovye sistemy obrabotki rechevyh signalov: ucheb. posobie* (Digital systems of handling of speech signals). Rjazan': Rjazan. gos. radiotehn. akad. 1995, 68 p. (in Russian).
9. Rekomendacija MSJe-T G.723.1 (Recommendation ITU-T G.723.1).
10. Kodek G.723.1 [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://www.univers-spb.ru/technologies/voip.php?print=Y> (data obrashhenija 17.02.2016).
11. Rekomendacija MSJe-T G.729a (Recommendation ITU-T G.729a).
12. **McQuerry S., McGrew K., Foy S.** Cisco Voice over Frame Relay, ATM, and IP. Cisco Press, 2001, 552 p.
13. Rekomendacija MSJe-T G.726 (Recommendation ITU-T G.726).
14. Kodek G.726 [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://www.voip-info.org/wiki/view/ITU%20G.726> (data obrashhenija 17.02.2016).
15. Kodek LBRAMR, MMBE [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://spiritdsp.com> (data obrashhenija 17.02.2016).
16. GOST R 50840-95 «Peredacha rechi po traktam svjazi. Metody ocenki kachestva, razborchivosti i uznavajemosti».