

УДК 629.067.:621.395.664

КУКУШ В.Д., к.т.н. (ООО НПП «СТАЛЬЭНЕРГО»)

Непрерывный контроль качества громкоговорящего оповещения: анализ способов реализации и результаты испытаний прототипа устройства

В статье приводится сравнительный анализ существующих способов объективной оценки качества передачи речевой информации в контексте решения задачи непрерывного контроля достоверности и разборчивости громкоговорящего оповещения на объектах железнодорожного транспорта. Обосновывается, что за основу алгоритма работы такого устройства следует использовать подход к обработке сигналов, применяемый для определения «Коэффициента передачи речи» (STI). В статье приводятся описание принципа работы и результаты лабораторных испытаний созданного в ООО НПП «СТАЛЬЭНЕРГО» экспериментального образца устройства контроля качества громкоговорящего оповещения.

Ключевые слова: громкоговорящее оповещение, разборчивость речи, коэффициент передачи речи (STI).

Введение

Обеспечение безопасности движения поездов, безопасности пассажиров и работников – одна из основных задач предприятия железнодорожного транспорта. В настоящее время разрабатываются централизованные интегрированные системы информирования пассажиров и оповещения работающих на железнодорожных путях (например, ЦИСОП [1]). Технические требования к такой ЦИСОП (см. табл. 1) определяют актуальность работ, направленных на решение задачи организации непрерывного контроля качества оповещения на озвучиваемой площади (станции, депо, в вагонах подвижного состава и т. п.) [1]. Под контролем качества оповещения следует понимать функцию мониторинга достоверности и разборчивости акустических сигналов, воспроизводимых устройствами оповещения, состоящую в непрерывном контроле преобладания уровня этих сигналов над помехами и отсутствия искажений, затрудняющих их восприятие.

Для выполнения задачи контроля качества оповещения необходимо два сигнала. Первый сигнал – «опорный», соответствует исходному сигналу оповещения, подлежащему озвучиванию. Таким сигналом может быть, например, сигнал, поступающий на вход блока усилителя мощности или же сигнал в фидерной линии системы громкоговорящего оповещения (ГГО). Предполагается, что в опорном сигнале отсутствуют помехи и его разборчивость составляет 100%. Второй сигнал – «фактический», соответствует акустической обстановке в конкретной точке на озвучиваемой территории при трансляции сигнала оповещения.

Таблица 1

Перечень требований к ЦИСОП в части мониторинга системы громкоговорящего оповещения

№	Формулировка требования
3.3.6.3.	Устройства информирования о приближении подвижного состава должны быть оборудованы системой автоматического контроля исправности оборудования. Система должна обеспечивать передачу информации об отказе устройств информирования на конкретном объекте на автоматизированные рабочие места диспетчера, дежурного зоны оповещения и системного администратора не позднее, чем через 5-7 секунд после наступления отказа.
3.5.1.	Средний уровень звукового давления на озвучиваемой площади в помещении вокзала и на пассажирских платформах и в парках должен устанавливаться с таким расчетом, чтобы он превышал средний уровень шумов не менее, чем на 10 – 15 дБ, но при этом составлял не более 90 дБ.
3.5.2.	В системе должна обеспечиваться автоматическая регулировка уровня выходного сигнала трансляционного усилителя в зависимости от уровня шума в зоне оповещения (информирования).
3.6.9	В системе СМА-ЦИСОП объектами мониторинга должны являться: - состояние трансляционных усилителей (норма, частичное отклонение от нормы, авария); - состояние оповестительных устройств (громкоговорителей); - состояние фидерных линий

Решение задачи контроля качества оповещения осложнено следующими факторами:

1) спецификой анализируемых сигналов. Время накопления отсчётов речевых сигнала для их обработки должно составлять не менее единиц секунд (быть не менее величины, обратной скорости произношения формант [2, 3]);

2) априори неизвестным временем задержки между опорным и фактическим сигналами, вызванным распространением звуковой волны от громкоговорителя к микрофону. Величина задержки зависит от:

- расстояния между громкоговорителем и микрофоном. Например, для расстояния в 30 метров задержка составляет около 0,1 с;

- температуры окружающей среды. Например, при изменении температуры с -20°C до $+20^{\circ}\text{C}$ величина задержки уменьшается на 8 %;

3) наличием переотражений озвучиваемого сигнала как от стационарных, так и от подвижных объектов;

4) временной нестационарностью опорного и фактического сигналов. Громкость помехи, содержащаяся в фактическом сигнале, может претерпевать значительные изменения даже во время вещания сигнала оповещения (например, во время прохождения вблизи подвижного состава);

5) наличием искажений спектрального состава фактического сигнала относительно опорного из-за априори неизвестного вида амплитудно- и фазочастотной характеристик используемых громкоговорителей;

6) непрерывным характером работы устройства. Время принятия решения о качестве оповещения должно составлять не более 5 секунд;

7) требованием к минимизации габаритов устройства контроля качества оповещения. Устройство должно быть реализовано в виде стандартного ТЭЗ размером не более 6U;

8) необходимостью технической реализации «обратного канала» для передачи сигнала фактического оповещения с микрофона, расположенного на озвучиваемой территории, к стойке системы ГГО, в которой предполагается располагать само устройство контроля оповещения.

Анализ существующих способов оценки качества передачи речевой информации

В табл. 2 приведена сравнительная характеристика способов, используемых для объективного определения разборчивости и искажений речи при её передаче и воспроизведении.

Таблица 2

Сравнительная характеристика способов объективного определения разборчивости и искажений речи в контексте решения задачи контроля качества громкоговорящего оповещения

Критерий, лежащий в основе способа	Преимущества	Недостатки
PESQ ¹⁾ (Perceptual evaluation of speech quality) [4] POLQA ¹⁾ (Perceptual objective listening quality assessment) [5]	- использует <u>речевой сигнал</u> в качестве тестового.	- не применим при наличии акустического эха в сигнале фактического оповещения; - ограниченная рекомендуемая длительность тестового речевого сигнала (8...12 с); - оценка не может быть получена в режиме реального времени по причине высокой вычислительной сложности [6].
STI ²⁾ (Speech Transmission Index) [2]	- низкая вычислительная сложность (по сравнению с др. способами) за счёт использования огибающих сигналов для их анализа; - применим при наличии акустических явлений эха и реверберации.	- не применим в масштабе реального времени, так как требует специализированный тестовый сигнал; - время проведения измерения 14 мин ... 15 с (полное/сокращённое измерение STI).
Максимум взаимокорреляционной функции (ВКФ) опорного и фактического сигналов [3, 7]	- возможно использование речевого сигнала в качестве тестового.	- чувствительный к фазовым искажениям фактического сигнала относительно опорного, которые слабо влияют на восприятие; - высокая вычислительная сложность при обработке речевых сигналов (при полосе 300...3400 Гц и времени накопления в единицы секунд).

Примечание:

¹⁾ PESQ, POLQA ориентированы на оценку влияния искажений, характерных для VoIP-сетей, на качество воспроизведения речевой информации (то есть искажений, обусловленных квантованием сигналов по уровню, сжатием речевых сигналов с потерями, потерей пакетов при передаче по IP-сети, изменением масштаба времени);

²⁾ STI ориентирован на оценку влияния акустики озвучиваемой территории или помещения на разборчивость воспроизводимой речевой информации.

Из табл. 2 следует, что за основу алгоритма обработки сигналов для решения задачи контроля оповещения целесообразно использовать подход, применяемый для определения «Коэффициента передачи речи» (STI). Это связано с тем, что величина STI используется для оценки качества передачи речевой информации в условиях акустических эхо, реверберации и характеризуется относительно низкой вычислительной сложностью алгоритма обработки сигналов для её определения.

В НПП ООО «СТАЛЬЭНЕРГО» разработан экспериментальный образец устройства контроля оповещения (УКО). Подход к обработке сигналов в этом устройстве аналогичен используемому для определения STI [2], за исключением следующих изменений, позволяющих реализовать контроль качества оповещения в масштабе реального времени:

1) вместо специализированного измерительного сигнала используется сам транслируемый сигнал оповещения, формируемый громкоговорителями системы ГГО;

2) вывод о качестве оповещения принимается на основании результатов корреляционной обработки опорного и фактического сигналов для каждой выделенной октавной (или третьоктавной) полосы их звукового спектра частот.

Результатом работы УКО является передача по интерфейсам RS-232 и Ethernet (протокол TCP/IP) сообщений-квитанций по началу и концу речевой активности в линии опорного сигнала. Сообщение-квитанция о конце речевой активности сопровождается «оценкой качества» произведенного оповещения, выраженной в процентах.

Результаты лабораторных испытаний устройства контроля качества оповещения

Структурная схема стенда для испытаний УКО приведена на рис. 1.

В качестве исходных речевых сообщений использовались аудиозаписи фраз, надиктованных из таблиц для определения фразовой разборчивости [8]. Объём начитанного материала: по 8 таблиц женским и мужским голосами, каждая таблица содержит 50 фраз.

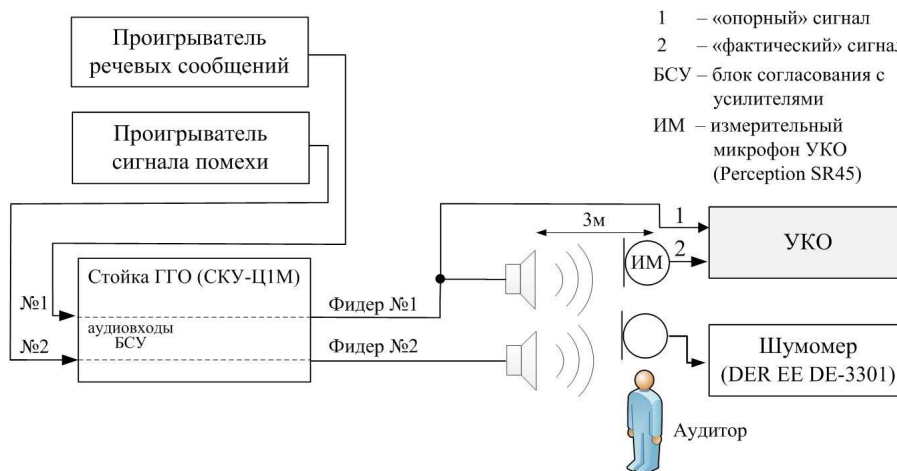


Рис. 1. Структурная схема стенда для проведения испытаний УКО

При испытаниях использовались следующие сигналы помех:

- 1) белый шум;
- 2) розовый шум (скорость убывания спектральной мощности шума с ростом частоты пропорциональна $1/f$, где f – частота, Гц);
- 3) аудиозапись стука колёс проходящего поезда (частота ударов 0,5...2 Гц).

Для озвучивания речевых сообщений использовались громкоговорители типа 10ГР-38 или CS-1-10, получаемые при этом результаты обрабатывались совместно. Для озвучивания сигналов помех использовался громкоговоритель типа CS-1-10.

В точке размещения измерительного микрофона УКО уровень громкости воспроизведения речевых

сообщений составлял 60 дБ(А). Уровень громкости воспроизведения сигналов помех: 50...80 дБ(А).

Испытания УКО проводились для трёх вариантов реализации алгоритма обработки сигналов. Эти реализации отличаются друг от друга количеством полос, на которое разбиваются спектры опорного и фактического сигналов при их сличении (см. табл. 3). В табл. 3 приведена также оценка вычислительной нагрузки используемого в УКО цифрового сигнального процессора TMS320C6747 для соответствующих реализаций алгоритма обработки сигналов. Вычислительная нагрузка оценивалась как отношение времени обработки отсчётов опорного и фактического сигналов к времени их накопления. Накопление отсчётов сигналов в УКО выполнялось с частотой дискретизации 16 кГц и разрядностью в 16 бит.

Таблиця 3

Характеристика варіантів реалізації алгоритма обробки сигналів в УКО

Найменування варіанта реалізації	Кількість (N), полоса (Δf), центральні частоти (f_0) і клас (по [9]) використовуваних полосових фільтрів				Вихислительна навантаження процесора, %
	N	Δf	$f_0, \text{Гц}$	клас	
«3П_3Кл»	3	октава	500, 1000, 2000	3	4
«3П_2Кл»	3	октава	500, 1000, 2000	2	6
«10П_2Кл»	10	треть октави	397, 500, 630, 794, 1000, 1260, 1587, 2000, 2520, 3174	2	15

Из табл. 3 видно, что ресурсы используемого в УКО процессора класса TMS320C6000 позволяют реализовать обработку нескольких пар «опорный-фактический» сигналы, тем самым выполняя контроль качества оповещения на нескольких различных зонах оповещения.

В ходе испытаний УКО, для фиксированных значений отношения уровней звукового давления сигнала оповещения и помехи (С/П), определялись фразовая разборчивость вещаемых сообщений (по показаниям аудитора, [8]) и оценка качества оповещения (по данным с УКО). В соответствии с требованиями [8, 10], каждая оценка фразовой разборчивости или качества оповещения представляет собой среднюю величину, полученную по результатам прослушивания 50 фраз, надиктованных женским и мужским голосами.

На рис. 2 а) приведено взаимное соответствие фразовой разборчивости и соотношения С/П, наблюдаемое в ходе испытаний. Вид приведенной зависимости согласуется с данными, приведенными в литературе. Так, из [11] следует, что удовлетворительная разборчивость речи гарантируется даже в том случае, если уровень речи будет на 5...10 дБ(А) ниже уровня помехи.

На рис. 2 б) приведен график соответствия оценок качества оповещения, формируемых УКО, оценкам фразовой разборчивости, определенных аудиторами при прослушивании сообщений параллельно с УКО. Зависимости, приведенные на рис. 2, осреднены по показаниям четырех приглашенных аудиторов и по всем используемым сигналам помех.

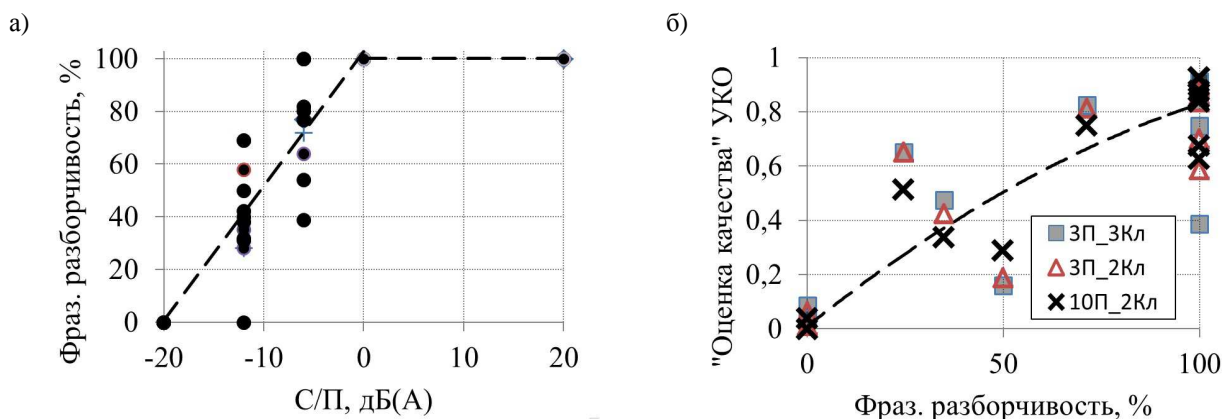


Рис. 2. Результаты лабораторных испытаний устройства контроля качества оповещения:
 а) взаимное соответствие фразовой разборчивости и соотношения С/П в ходе испытаний;
 б) взаимное соответствие оценок качества оповещения, формируемых УКО и фразовой разборчивости, определенной аудиторами. На легенде рисунка указан вариант реализации алгоритма УКО, которому соответствуют приведенные результаты (см. таблицу 3)

Из рис. 2 б) видно, что оценки качества оповещения, формируемые УКО, соответствуют оценкам фразовой разборчивости. Величина коэффициента корреляции между данными оценками составляет 0,83...0,93 (при анализе сигналов в трёх или десяти полосах соответственно). Значимость коэффициента корреляции этих оценок позволяет с

доверительной вероятностью более 0,999 отвергнуть гипотезу об их некоррелированности (несоответствии) [12].

Результаты испытаний УКО в условиях эхо и реверберации приведены на рис. 3 (вариант реализации алгоритма обработки сигналов в УКО – «10П_2Кл», см. табл. 3). Для воссоздания явлений эха и

реверберации аудиозаписи фраз, используемые для определения разборчивости, независимо воспроизводились через первый и второй громкоговорители системы ГГО. На фидер первого громкоговорителя поступала исходная запись без каких-либо изменений. На фидер второго громкоговорителя, вместо записи сигнала помехи, поступала либо задержанная, либо реверберированная копия сигнала исходной записи. Уровни громкости сигналов с первого и второго громкоговорителей составляли 60 дБ(А).

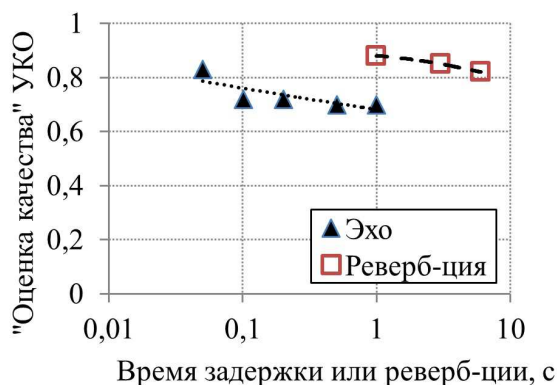


Рис. 3. Зависимость оценок качества оповещения, формируемых УКО, от величины задержки эхо-сигнала или времени реверберации

Приведенные зависимости показывают, что оценка качества оповещения, формируемая УКО, уменьшается приблизительно в 1,3 раза при наличии акустических эхо или реверберации в сигнале фактического оповещения. Однако величина оценки всё же остаётся более 0,6, что свидетельствует об удовлетворительной разборчивости фраз в сигнале фактического оповещения (см. рис. 2 б). При этом, исходя из оценок auditors, разборчивость озвучиваемых фраз не изменилась, однако впечатление о «качестве» их звучания ухудшилось.

Выводы

Основываясь на результатах лабораторных испытаний разработанного в ООО НПП «СТАЛЬЭНЕРГО» экспериментального образца устройства контроля оповещения «УКО» показано, что предлагаемая методика обработки сигналов может быть использована для реализации непрерывного контроля качества громкоговорящего оповещения. Так, оценки качества оповещения, формируемые УКО, коррелируют с субъективными оценками фразовой разборчивости транслируемых сообщений с доверительной вероятностью не хуже 0,9.

Применение УКО востребовано для выполнения автоматической регулировки уровня выходного

сигнала трансляционного усилителя в зависимости от уровня шума на озвучиваемой территории и непрерывного контроля достоверности и разборчивости транслируемых речевых сообщений на "проблемных" участках тракта оповещения (то есть таких участках тракта, на которых невозможно судить об успехе выполнения трансляции по уровню напряжения или тока в контрольных точках соответствующих устройств):

- «Усилитель мощности – фидерная линия – громкоговоритель – акустическая среда». Опорный сигнал поступает на УКО с входа усилителя мощности, фактический сигнал – с измерительного микрофона, расположенного на озвучиваемой территории;

- «Акустическая среда – микрофон – микрофонный усилитель». Опорный сигнал поступает на УКО с измерительного микрофона, расположенного вместе с основным микрофоном, фактический сигнал – с выхода микрофонного усилителя.

Литература

1. Централизованная система информирования и оповещения [Текст] / А.Н. Слюняев, Д.В. Ананьев, В.С. Андриенко, И.Д. Блиндер // Новая техника и технология. — 2012. — №8. — С. 6—12.
2. Steeneken, Herman J.M. Basics of the STI-measuring method [Интернет ресурс] // Hermann J.M.Steeneken, Tammo Houtgast. — Режим доступа : www / URL: http://www.steeneken.nl/sti/Basics_STI_web-site.pdf. — 25.01.2013. — Загл. с экрана.
3. Фланаган Д.Л. Анализ, синтез и восприятие речи [Текст] / Джеймс Л. Фланаган; пер. с англ. — М.: Связь, 1968. — 396с.
4. ITU-T Recommendation P.862. Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs [Текст]. — Введ. 2001–02–01. — Geneva. — 30р.
5. ITU-T Recommendation P.863. Perceptual objective listening quality assessment [Текст]. — Введ. 2011–01–01. — Geneva. — 76р.
6. Ganguly S., VoIP: wireless, P2P and new enterprise voice over IP [Текст] / Samrat Ganguly, Sudeept Bhatnagar . — Wiley, 2008 . — 276р.
7. Справочник по акустике [Текст]/ В.К. Иофе, В.Г. Корольков, М.А. Сапожков ; под ред. М.А. Сапожкова . — М.: Радио и связь, 1979.- 312с.
8. ГОСТ Р 50840-95. Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости [Текст]. — Введ. 1995–11–21. — М.: ГОССТАНДАРТ России. — 202с.
9. ANSI S1.11-2004. Specification for octave-band and fractional-octave-band analog and digital filters

- [Текст]. — Введ. 2009–06–15. — Accredited Standards Committee S1, Acoustics, USA. — 21p.
10. ITU-T Recommendation P.800. Methods for subjective determination of transmission quality [Текст]. — Введ. 1996–08–1. — Geneva. — 37p.
11. Справочник по технической акустике [Текст]/ под ред. М. Хекла и А. Мюллера; пер. с нем. — Л.: Судостроение, 1980. — 329с.
12. Румшицкий Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента [Текст] / Л.З. Румшицкий. — М.: Наука, 1971. — 192 с.

Кукуш В.Д. Безперервний контроль якості гучномовного сповіщення: аналіз способів реалізації та результати випробувань прототипу пристрою. У статті наводиться порівняльний аналіз існуючих способів об'єктивної оцінки якості передачі мовної інформації в контексті вирішення завдання безперервного контролю достовірності і розбірливості гучномовного сповіщення на об'єктах залізничного транспорту. Обґрунтовується, що за основу алгоритму роботи такого пристрою слід використовувати підхід до обробки сигналів, що застосовується для визначення «Коефіцієнта передачі мови» (STI). У статті наводяться опис принципу роботи і результати лабораторних випробувань створеного в ТОВ НВП «СТАЛЬЕНЕРГО» експериментального зразка пристрою контролю якості гучномовного сповіщення.
Ключові слова: гучномовне сповіщення, розбірливість мови, коефіцієнт передачі мови (STI).

Kukush V.D. Continuous quality control of loud-speaking announcement: the analysis of implementation methods and the results of the device prototype testing. The article presents a comparative analysis of existing methods of impartial assessment of voice data transmission quality within the framework of the solution of the task of continuous quality control of reasonableness and intelligibility of loud-speaking announcement on railway transport. It is proved that the signal processing approach being applied for «Speech Transmission Index» (STI) should be used as the basis for the algorithm of such device. The article describes the principle of operation and the results of laboratory tests of such a device prototype, developed in «STALENERGO», RPE, Ltd.

Key words: loud-speaking announcement, speech intelligibility, speech transmission index (STI).

Рецензент І.А. Фурман, доктор технічних наук, професор, завідує кафедрою автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка

Поступила 07.07.2014 з.