

Модель параметрических отклонений характеристик эхотрактов, обусловленных влиянием акустической составляющей эхосигнала

СТАРАНИЯМИ ОПЕРАТОРОВ IP-ТЕЛЕФОНИИ И МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ЭФФЕКТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭХА В ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ СТАЛ ПРИВЫЧНЫМ ДЛЯ АБОНЕНТОВ ЯВЛЕНИЕМ В ТЕЛЕФОННЫХ РАЗГОВОРАХ. МЕЖДУ ТЕМ, С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ, ЕГО НАЛИЧИЕ ТРАКТУЕТСЯ КАК ВЕСЬМА ЗНАЧИМЫЙ МЕШАЮЩИЙ ФАКТОР, ТРЕБУЮЩИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ЭХОПОДАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ (ЭПУ).



Шаврин С.С.,
доцент МТУСИ,
заведующий научно-исследовательской лабораторией



Шевчук А.Б.,
с.н.с., начальник научного отдела
Московского экономико-лингвистического
института (МЭЛИ)

Для борьбы с мешающим воздействием эффекта электрического эха применяются различные ЭПУ, наиболее широкое распространение среди которых на сетях связи получили эхокомпенсаторы (ЭК), функционирующие по принципу формирования копии эхосигнала и ее вычитания из сигнала обратного направления передачи. Корректность работы алгоритмов адаптивной настройки ЭК в значительной степени определяется стабильностью характеристик передачи эхосигналов, подлежащих подавлению [1]. Любые параметрические изменения характеристик передачи эхосигналов могут приводить к расстройкам компенсационного механизма подавления, снижая общее качество телефонной передачи.

Анализ результатов исследований, проведенных на ЕСЭ РФ, дает основание выделить две основные составляющие эхосигнала в телефонных каналах — электрическую и акустическую.

Электрическая составляющая эхосигнала возникает вследствие различных причин проникновения электрического сигнала из прямого направления передачи в обратное. Главной причиной проникновения электрических сигналов в обратное направление передачи на фиксированной сети является неполная развязка в точках перехода с четырехпроводной части канала на двухпроводную.

Акустическая составляющая эхосигнала, характерная как для фиксированной сети, так и для сетей подвижной связи, является следствием наличия акустической связи между телефоном и микрофоном в абонентских терминалах.

Электрическая и акустическая составляющие эхосигнала действуют независимо одна от другой и могут влиять как одновременно, так и с некоторым разнесом по времени (например, в абонентских радиоудлинителях DECT).

Целью настоящей статьи является моделирование параметрических изменений формы импульсной характеристики эхотракта, обусловленных влиянием акустической составляющей эхосигнала в каналах телефонной связи.

В рамках проблемы компенсационного подавления эхосигналов одним из дестабилизирующих свойств их акустической составляющей является весьма существенный уровень параметрических эффектов, вызванных механическими воздействиями абонентов на микротелефонную трубку.

В соответствии с основными представлениями теории акустики, микротелефонная трубка представляет собой коробчатую конструкцию, корпусом которой является тонкая упругая пластина из твердого материала. Акустические звуковые волны, возбуждаемые телефонным капсюлем, могут вызывать упругие колебания корпуса, которые, распространяясь по материалу корпуса и воздействуя на микрофон, формируют акустическую составляющую эхосигнала.

В случае контакта корпуса микротелефонной трубки с человеческой рукой условия распространения упругих волн по корпусу могут меняться. Мягкие биологические ткани, также как и резина и мягкие пластические массы, относятся к водоподобным средам, коэффициент поперечного сжатия (коэффициент Пуассона) у которых близок к $1/2$, а величина модуля сдвига намного меньше модуля упругости (модуля Юнга). Скорость распространения поперечных упругих волн в таких средах существенно меньше скорости продольных волн [2].

Влияние контакта человеческой руки с корпусом микротелефонной трубки на распространение упругих волн качественно может быть представлено моделью влияния граничащей жидкости на волну, бегущую по мембране [3].

В отсутствие жидкости уравнение одномерного движения мембраны имеет вид:

$$\rho_m \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} - T \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = 0, \quad (1)$$

где U — поперечное смещение мембраны в направлении вертикальной оси z ;

ρ_m — поверхностная плотность мембраны;
 T — натяжение мембраны по оси x .

Скорость упругих волн, распространяющихся по мембране, равна

$$C_M = \sqrt{\frac{T}{\rho_m}}, \quad (2)$$

а гармоническая волна, распространяющаяся по мембране в направлении оси x , может быть представлена в виде:

$$U = e^{j(k_m x - \omega t)}, \quad (3)$$

где $k_m = \frac{\omega}{C_M} = \sqrt{\frac{\rho_m \omega^2}{T}}$ — волновое число

распространяющихся по мембране упругих волн.

При контакте мембраны с жидкой средой, плотность которой равна $\rho_{ж}$, а скорость упругих волн в которой равна $C_{ж} = C_0/k_{ж}$, по мембране будут распространяться гармонические упругие волны вида:

$$U = e^{j(k x - \omega t)}, \quad (4)$$

где k — волновое число упругих волн, распространяющихся по нагруженной мембране.

Поперечное смещение мембраны в направлении оси z вызовет появление в жидкости волны давления, амплитуда которой определяется из граничных условий на поверхности мембраны:

z — компонентное смещение жидкости при $z = 0$ должно равняться поперечному смещению мембраны U .

Граничные условия удовлетворяются при

$$U = P \cdot j \cdot \frac{\sqrt{k_{ж}^2 - k^2}}{\rho_{ж} \omega^2},$$

откуда следует

$$P = -j \cdot \frac{\rho_{ж} \omega^2}{\sqrt{k_{ж}^2 - k^2}} \cdot U, \quad (5)$$

где P — амплитуда волны давления в жидкой среде при $z = 0$.

Уравнение движения мембраны, граничащей с жидкостью, будет отличаться от уравнения (1) для свободной мембраны добавочной силой (5) — давлением среды. Для гармонической волны частотой ω это уравнение записывается в виде:

$$\rho_m \omega^2 - T k^2 + j \frac{\rho_{ж} \omega^2}{\sqrt{k_{ж}^2 - k^2}} = 0. \quad (6)$$

Отсюда может быть выведено дисперсионное уравнение для волн на мембране, граничащей с жидкостью:

$$(k^2 - k_m^2) \sqrt{k^2 - k_{ж}^2} = \frac{\rho_{ж}}{\rho_m} k_m^2. \quad (7)$$

Решение дифференциального уравнения (7) в области действительных чисел лежит в пределах $k > k_m$, $k > k_{ж}$ и соответствует неоднородным волнам в жидкости, бегущим вдоль мембраны медленнее волн на ненагруженной мембране и убывающим по экспоненциальному закону при удалении от мембраны. Поскольку реакция такой неоднородной волны на мембрану носит характер массовой нагрузки, ее действие тождественно некоторой присоединенной массе: волна на мембране "тянет" за собой неоднородную волну в жидкости.

Поиск решения дисперсионного уравнения (7) в области комплексных чисел проводится в виде:

$$k^2 = k_m^2 \cdot (1 + \delta + j \cdot \epsilon), \quad (8)$$

где δ — действительная добавочная часть волнового числа, определяющая изменение скорости распространения волн на мембране; ϵ — мнимая добавочная часть волнового числа, определяющая затухание распространяющихся по мембране волн.

Подстановка (8) в (7) дает выражение для δ и ϵ :

$$\epsilon = \frac{\rho_{ж}}{\rho_m} \cdot \frac{1}{\sqrt{k_{ж}^2 - k^2}}, \delta = -\frac{1}{2} \epsilon^2 \cdot \frac{k_m^2}{k_{ж}^2 - k_m^2}. \quad (9)$$

Из (9) следует, что в результате влияния жидкой среды скорость распространения волны по мембране изменяется во втором порядке малости по сравнению с затуханием волны. Эффект затухания волны при этом проявляется гораздо более заметно по сравнению с эффектом изменения скорости распространения волны.

Затухание волны, вызванное влиянием жидкой среды, физически обусловлено излучением упругих волн колеблющейся мембраной, т.е. постоянным оттоком энергии при распространении упругих волн по мембране.

Представленная модель дает основание сформулировать следующие выводы:

1. Затухание, вносимое в акустическую волну за счет контакта с телом абонента, существенно зависит от площади контакта и усилий, прикладываемых к корпусу микрофонной трубки. Изменение условий контакта, неизбежное в процессе разговора, может явиться причиной значимых параметрических изменений характеристик передачи экосигнала, осложняющих задачу их компенсационного подавления.

2. Для типовых микрофонных трубок время распространения волн по материалу корпуса не превышает интервала дискретизации сигнала в цифровых каналах, что дает ос-

нование пренебречь взаимными фазовыми сдвигами волн, распространяющихся по разным сторонам корпуса, в акустической составляющей экосигнала. Так, время распространения продольной волны по типичному корпусу микрофонной трубки составляет величину порядка 30 мкс, крутильной волны — порядка 45 мкс, а изгибной волны — порядка 100 мкс.

3. Малое время распространения акустических волн по корпусу микрофонной трубки в совокупности с их значительным затуханием дает основание пренебречь эффектами многократных отражений и вносимым фазовым сдвигом по сравнению с эффектами, вносимыми другими элементами экотракта, формирующими акустическую составляющую экосигнала, в частности, микрофонного и телефонного капсулей.

4. С учетом стабильности скорости распространения волн в материале корпуса и значительной инерционности (по сравнению с процессом обработки сигналов) механических процессов, формирующих параметрические воздействия на акустический тракт распространения экосигналов через материал корпуса телефонного аппарата, представляется допустимым использование линейной аппроксимации при имитации параметрических явлений в экотракте. Модель влияния акустической составляющей экосигнала на динамику изменений формы импульсной характеристики экотракта может быть с приемлемой точностью представлена изменением в момент i поступления очередного отсчета входного сигнала x_i условий распространения для одной j -й точки отражения в соответствии с выражением:

$$k_{ij} = \begin{cases} 1, & j \neq m \\ k_0 + k_1 \cdot (i - T_1 \cdot f_a), & j = m, T_1 \cdot f_a \leq i \leq T_2 \cdot f_a \\ k_0, & j = m, i < T_1 \cdot f_a \\ 1, & j = m, i > T_1 \cdot f_a \end{cases} \quad (10)$$

а значение отсчета экосигнала может быть вычислено как:

$$e_i = \sum_{j=0}^{N-1} x_{i-j} \cdot g_j \cdot k_{ij} = \sum_{j=0}^{m-1} x_{i-j} \times \times g_i + (k_0 + k_1 \cdot i) \cdot x_{i-m} + \sum_{j=m+1}^{N-1} x_{i-j} \cdot g_j \quad (11)$$

где g_j — отсчеты импульсной характеристики экотракта.

Литература

1. Шаврин С.С. Электрическое эхо: заграждать или компенсировать?// Вестник связи. — 2005. — №1.
2. Демин И.Ю. Исследование вязко-упругих характеристик мягких биологических тканей// Труды научной конференции по радиофизике. — Нижегородский университет, 2001.
3. Исакович М.А. Общая акустика. — М.: Наука, 1973.