

УДК 621.395.664

## УПРАВЛЕНИЕ ЭХОПОДАВЛЯЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ НА СТЫКАХ СТАЦИОНАРНОЙ СЕТИ И СЕТЕЙ СОТОВОЙ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ

**В. В. Афанасьев**, советник ГСПИ РТВ

**А. И. Терентьев**, ведущий электроник ИКИ РАН

**С. С. Шаврин**, профессор МТУСИ, д. т. н.; sss@srd.mtuci.ru

*Ключевые слова:* эффект электрического эха, эхоподавляющие устройства, эхозаградитель, эхокомпенсатор, сети сотовой подвижной связи.

Сегодня проблема подавления эхосигналов на ВСС РФ характеризуется двумя противоречивыми тенденциями. С одной стороны, установка эхоподавляющих устройств (ЭПУ) на сетях связи не вызывает больших технических трудностей (стоимость оборудования не слишком велика, особенно когда оно встраивается в аппаратуру коммутации или абонентскую радиостанцию (АРС); предлагаемое поставщиками оборудование, в основном, соответствует требованиям нормативных документов), и операторы предполагают, что сигнал электрического эха будет подавлен во всех случаях.

С другой стороны, пользователь достаточно часто ощущает мешающее действие электрического эха, особенно при взаимодействии фиксированной и мобильной сетей. У абонентов этот недостаток устойчиво ассоциируется с издержками мобильной связи. И, действительно, нигде проблема эхосигналов не стоит так остро, как в сетях сотовой подвижной связи (ССПС).

Одной из главных (с точки зрения вопросов борьбы с мешающим воздействием эффекта электрического эха) особенностей ССПС является использование в них сложных алгоритмов обработки и кодирования речевых сигналов, обладающих свойством сгруппированного размножения ошибок передачи и вносящих в обрабатываемый сигнал существенную задержку. Так, один комплект кодера и декодера RPE-LTP вносит в сигнал задержку около 100 мс, а одиночная ошибка, возникающая при передаче кодированного сигнала, может иметь в восстановленном сигнале последствие длительностью до полусекунды [1, 2, 3, 4].

Наиболее важными с позиций мешающего воздействия эффекта электрического эха и эффективности работы ЭПУ являются следующие характеристики сети:

- структура основных типов телефонных соединений;
- время задержки сигнала на различных участках телефонного соединения;
- места размещения ЭПУ в соединениях, устанавливаемых по различным типам маршрутов;
- алгоритм управления активностью ЭПУ в телефонных соединениях;
- основные параметры используемых ЭПУ;
- электрические характеристики соединения, такие как импульсная и амплитудная характеристики эхотрактов, статистические характеристики шумов и импульсной помехи в каналах и эхотрактах, диаграмма уровней соединения, параметрические явления в эхотрактах и т. п.

Причины недостаточной эффективности работы ЭПУ на ССПС стандарта GSM можно разделить на две категории:

- «неправильное» включение ЭПУ в соединение;
- влияние факторов, нарушающих адекватную работу ЭПУ при «правильном» их включении.

Нормативные документы [5, 6] предписывают включение в соединение, использующее мобильный участок, двух по-

лукомплектов ЭПУ — по одному на каждом конце. Каждый полупакет ЭПУ предназначен для защиты от мешающего воздействия эффекта электрического эха «дальнего» абонента, подключенного к противоположному относительно ЭПУ концу соединения.

Один из полупакетов ЭПУ встраивается в каждую АРС с целью подавления эхосигналов, возникающих из-за наличия акустической связи телефон — микрофон; этот полупакет защищает от мешающего воздействия эффекта электрического эха абонента на противоположном конце соединения, в качестве которого может выступать как другой мобильный абонент, так и абонент фиксированной сети. Этот полупакет ЭПУ в дальнейшем изложении будем называть мобильным. В качестве мобильного ЭПУ допускается использование эхозаградителя или эхокомпенсатора. В любом случае общее затухание эхосигнала (отнесенное к точкам нулевого относительного уровня) должно быть не менее 46 дБ. Немаловажным является и тот факт, что реальные характеристики АРС, используемых на сети, достоверно не известны; вопрос их регламентации находится за пределами возможностей операторов связи.

Помимо мобильных полупакетов ЭПУ в состав оборудования ССПС входят стационарные полупакеты, предназначенные для подавления эхосигналов, возникающих на телефонной сети общего пользования или на других внешних сетях. Стационарные полупакеты ЭПУ служат для защиты мобильных абонентов от мешающего воздействия эффекта электрического эха; эти ЭПУ относятся к классу эхокомпенсаторов (ЭК).

Неадекватная работа эхоподавляющих устройств компенсационного типа выражается в явлениях двух видов, способных вызвать претензии абонентов к качеству телефонной передачи [4]:

- наличие неподавленного эхосигнала;
- клиппирование (выпадение отрезков) передаваемой речи.

Неадекватная работа мобильных ЭПУ может быть обусловлена, главным образом:

- использованием некачественных АРС, не обеспечивающих необходимую степень подавления эхосигналов вследствие отсутствия или некачественной работы встроенного эхоподавателя;
- несоответствием электрических характеристик АРС характеристикам сигналов в каналах ССПС (главным образом, уровней сигналов), вызывающих перегрузки акустического тракта АРС и приводящим к расстройке работы ЭК, особенно при использовании АРС в громкоговорящем режиме;
- повышенным уровнем окружающего шума;
- эффектом Доплера при использовании АРС в движении;
- ошибками, возникающими при передаче сигналов RPE-LTP по радиоканалу.

Неадекватная работа стационарных ЭПУ может быть обусловлена влиянием таких факторов, как:

- нелинейность эхотрактов, включая такие ее разновидности, как сдвиг спектра частот эхосигнала относительно вызвавшего его речевого сигнала и включение в эхотракт систем сжатия речевого сигнала, использующих интерполяционные алгоритмы;

- параметрические явления в эхотракте (колебания сопротивления угольного микрофона при разговоре, мерцание контактов механических коммутационных станций, колебания акустической составляющей эхосигнала и др.);

- низкое затухание эхосигналов;

- перекосы диаграммы уровней соединения, вызывающие, в частности, избыточно высокие уровни речевых сигналов;

- заниженные показатели синхронизации.

В соответствии с требованиями нормативных документов [6] подавление эхосигналов, возникающих в ССПС, должно обеспечиваться только средствами ССПС.

Функция подавления эхосигналов, возникающих на наземной телефонной сети связи общего пользования (ТфОП), при организации связи между абонентами ССПС и абонентами ТфОП должна осуществляться:

- средствами ССПС, если время распространения сигнала на участке канала, входящего в сеть общего пользования, не превышает 22 мс (в один конец); при этом в соединение должен включаться один полукomплект ЭПУ (на ССПС для подавления эхосигналов, поступающих со стороны ТфОП), рассчитанный на уверенное подавление эхосигналов, задержанных на время до 60 мс (концевая задержка);

- средствами ТфОП, если время распространения сигнала на входящем в ее состав участке канала превышает 22 мс (в один конец).

Если подавление эхосигналов, возникающих в ТфОП, осуществляется средствами ТфОП, а при этом на ССПС на стыке с ТфОП включен стационарный комплект ЭПУ, то его следует вывести из соединения или нейтрализовать.

В трактах связи между мобильными абонентами, организованных с использованием или без использования каналов ТфОП, дополнительные ЭПУ по отношению к жестко закрепленным оконечным или четырехпроводным абонентским установкам не должны устанавливаться ни на ССПС, ни на ТфОП. Все промежуточные (транзитные) ЭПУ, включенные в такое соединение, должны быть нейтрализованы.

При решении проблем эхоподавления особое место занимают услуги переадресации, конференц-связи и некоторые другие, предоставляемые операторами цифровых сетей. Правила включения ЭПУ должны соблюдаться при любых видах переадресации вызовов, независимо от количества переходов между ССПС и ТфОП в установленном соединении.

Эхоподавляющее устройство по схеме включения в каналы (тракты) представляет собой восьмиполюсник, включаемый в разрыв четырехпроводной части канала (тракта), причем, одна четверка зажимов ЭПУ включается в сторону оконечной дифференциальной системы («станционная сторона»), а другая — в сторону другого полукomплекта ЭПУ («линейная сторона»); при этом стороны не взаимозаменяемы. При коммутации ЭПУ для всех видов соединений должно соблюдаться правильное включение линейной и станционной сторон.

Как известно, на ССПС связь с абонентами сетей других операторов и ТфОП организуется через Центр коммутации сети подвижной связи (ЦК СПС) [7], на который возложены функции управления ЭПУ. Для управления процессами

установления соединений на сети, включающего управление работой ЭПУ, используется система сигнализации ОКС-7. Сеть ОКС-7 федеральной сети GSM увязана с сетью ОКС-7 ТфОП. Сигналы управления ЭПУ передаются в подсистеме передачи сообщений ISUP-R [8].

Анализ архитектуры типовой ССПС стандарта GSM и характеристик используемых ЭПУ позволяет выделить следующие основные виды ошибок включения ЭПУ в соединение:

- невключение стационарных ЭК в соединение, где его наличие необходимо, например, в местное соединение мобильного абонента с абонентом ТфОП;

- включение транзитных ЭПУ в соединение, например, включение стационарного ЭПУ на ЦК СПС одновременно с ЭК ТфОП при междугородном или международном телефонном соединении;

- превышение временем распространения эхосигналов предельного значения, при котором может быть обеспечено эффективное эхоподавление используемым ЭК.

В свою очередь, невключение ЭПУ в соединение может быть обусловлено рядом причин. При групповом закреплении ЭПУ за каналами связи одной из главных причин невключения может стать отсутствие свободного полукomплекта ЭПУ на момент установления соединения, когда количество ЭПУ, установленных на коммутационной станции, не соответствует расчётному значению.

При междугородном или международном соединениях подавление эхосигналов часто должно обеспечиваться средствами ТфОП, отсутствие доступного полукomплекта ЭПУ на которой на момент установления соединения также может стать причиной невключения ЭПУ.

К одной из вероятных причин невключения ЭПУ можно также отнести ошибки взаимодействия между оборудованием сетей различных операторов из-за отсутствия единого подхода к управлению ЭПУ по сообщениям систем сигнализации. Возможности управления ЭПУ, заложенные в ISUP-R, соответствуют рекомендации МСЭ-Т Q.767 [8] и ограничиваются использованием индикаторов «Исходящий полукomплект ЭПУ включен/не включен» в составе сообщения IAM (Initial Address Message), передаваемом однократно в направлении установления соединения и «Входящий полукomплект ЭПУ включен/не включен» в составе сообщения ACM (Address Complete Message), также однократно передаваемом в обратном направлении.

Отсутствие в составе сообщений ISUP-R полей управления ЭПУ сводит на нет практически все положения рекомендации Q.115 [9]. Использование на сети связи ISUP-R не гарантирует оптимального размещения ЭПУ в соединении, провоцируя их некорректную работу.

Включение в соединение транзитных ЭПУ может привести к снижению качества телефонной передачи, что обусловлено двумя факторами. Во-первых, ЭК представляет собой цепь, дублирующую эхотракт, и в отсутствие эхосигнала ЭК может сам стать источником эхосигналов; например, в том случае, когда задержка сигнала в эхотракте превышает максимально допустимое для используемого ЭК значение. Во-вторых, неправильная работа детектора встречного разговора в условиях повышенного значения времени задержки эхосигнала будет вызывать (помимо возможного наличия неподдавленного эхосигнала) неправильную работу нелинейного процессора, которая, в свою очередь, будет приводить к клиппированию передаваемого речевого сигнала или модуляции шумов помещения.

Изложенные положения дают основание для следующих **выводов и рекомендаций** по повышению эффективности работы ЭПУ на стыках стационарных и мобильных сетей.

**Управление ЭПУ.** С точки зрения обеспечения корректного управления работой (активностью) ЭПУ на ССПС целесообразным представляется восстановление полей управления ЭПУ в протоколах систем сигнализации; это можно осуществить, например, переходом к ISUP и реализацией управления в соответствии с алгоритмами, изложенными в [6].

До изменения протоколов систем сигнализации в переходный период повышение эффективности эхоподавления может быть достигнуто в рамках ISUP-R. Для минимизации потерь при этом необходимо выполнить следующие условия:

- каждый оператор должен провести измерения времени распространения сигнала для направлений, заканчивающихся на ТфОП, и осуществить подробный анализ результатов измерений (в некоторых случаях можно воспользоваться результатами измерений, проведенных специалистами МТУСИ по поручению Инфокоммуникационного Союза). При вводе новых направлений время распространения сигнала по ним должно быть также проанализировано или измерено;

- по результатам анализа необходимо выделить те направления, на которых подавление эхосигналов может быть обеспечено с помощью имеющихся в распоряжении ЭК (на ЦК СПС). Эти направления должны быть сформированы каналами, обеспечивающими битовую прозрачность на уровне канальных интервалов (64 кбит/с), и не должны содержать средств сжатия речи (аппаратуры АДИКМ, DTX и других средств, использующих такие алгоритмы, как ADPCM, GSM, CELP, CS-ACELP, MP-MLQ и им подобные). Время распространения сигнала по таким направлениям в оба конца не должно превышать значения, указанного для ЭК как предельное, для которого может быть обеспечено эффективное эхоподавление;

- при установлении исходящих оконечных соединений с АРС на абонентов ТфОП по выбранным направлениям в канал должны включаться ЭК из состава оборудования ЦК СПС. В составе сообщений IAM в сторону ТфОП должно быть отправлено нулевое значение индикатора «Исходящий полукомплект ЭПУ не включен». Такая логика взаимодействия противоречит логике управления ЭПУ, однако нулевое значение индикатора полученное на входящей коммутационной станции дает возможность определить необходимость включения входящего полукомплекта ЭПУ;

- входящая коммутационная станция ТфОП не должна включать входящий полукомплект ЭПУ в такое соединение и должна направить в сторону ЦК СПС нулевое значение индикатора «Входящий полукомплект ЭПУ не включен» в составе сообщения АСМ. Если же по каким-то причинам входящий полукомплект включен (например, при наличии жестко включенного входящего полукомплекта на прилегающем участке), то на коммутатор ЦК СПС должно быть отправлено «единичное» значение индикатора «Входящий полукомплект включен», согласно которому ЦК СПС должен вывести из соединения или нейтрализовать включенный входящий полукомплект ЭК. По этой части протокола должна быть достигнута договоренность с ТфОП.

- на коммутационных станциях ТфОП при исходящих (не транзитных!) соединениях в сторону ССПС каналы выбранных направлений должны быть помечены как наземные, не требующие включения исходящего полукомплекта ЭПУ. Значение индикатора исходящего полукомплекта ЭПУ должно выставляться в соответствии с наличием постоянно

включенного исходящего полукомплекта в данном соединении — в составе сообщения IAM. Эта часть протокола также требует согласования с ТфОП;

- на остальных направлениях, а также на транзитных соединениях по каналам выбранных направлений функцию подавления эхосигналов целесообразно возложить на ТфОП или на дальнего оператора, если соединение устанавливается через ТфОП. В таких соединениях при исходящей связи должно устанавливаться «единичное» значение индикатора исходящего полукомплекта ЭПУ, а при входящей связи — значение индикатора входящего полукомплекта. При получении со стороны ТфОП нулевого значения индикатора в составе сообщения IAM или АСМ, вероятно, целесообразно произвести попытку нового соединения. По этой части протокола должна быть достигнута четкая и однозначная договоренность с операторами ТфОП, включая возможность предоставления ресурсов эхоподавляющих устройств ТфОП для соединений с мобильными абонентами.

Предлагаемые изменения протокола не гарантируют отсутствия в соединении транзитных ЭПУ в случае их жесткого закрепления на участках ТфОП. Для предотвращения этих ситуаций на сети управление жестко закрепленными ЭПУ должно быть организовано по биту «с» в КИ16. Для этого необходимо выполнить следующие операции:

- на всех направлениях, на которых могут встречаться постоянно закрепленные ЭПУ, необходимо обеспечить сверхцикловую структуру первичных цифровых потоков E1 (CAS);

- на коммутационных станциях — ЦК СПС, АМТС и станциях сетей доступа (если ЭПУ постоянно включены на участке сети доступа) необходимо установить бит «с» для используемого в соединении канального интервала в активное значение при передаче таких видов информации, как «речь» и «аудио 3,1 кГц» (и в нейтрализующее значение в противном случае);

- функция управления по биту «с» со стороны ближней станции (из тракта передачи) должна быть активизирована для ЭПУ, постоянно включенных в каналы, при этом ЭПУ необходимо установить в режим сквозной трансляции бита «с» через свой тракт приема, а на выходе тракта передачи ЭПУ бит «с» должен быть установлен в нейтрализующее значение.

Отсутствие рекомендаций по активному/нейтрализующему значению бита «с» диктует необходимость договоренности по этому вопросу между всеми заинтересованными операторами. Исторически де-факто нулевое значение бита «с» чаще всего используется как активное, а единичное — как нейтрализующее. При выработке договоренности важно оценить возможности ЭПУ по управлению по биту «с» и обеспечить единство понимания его значения для ЭПУ и коммутационных станций.

**Подавление эхосигналов, приходящих со стороны мобильного абонента.** Не следует полагаться на возможность качественного подавления эхосигналов, приходящих со стороны мобильного абонента, встроенными средствами эхоподавителей АРС и ЦК СПС. Некоторые производители заявляют возможность компенсационного подавления эхосигналов, возникающих в АРС, как дополнительную функцию ЭК, входящих в состав оборудования ЦК СПС. Эта функция предназначена для защиты абонентов ТфОП при местных, междугородных и международных соединениях от мешающего воздействия эхосигналов, возникающих на мобильном конце соединения. Заявляемая в такой формулировке функция противоречит накопленному в мировой практике опыту борьбы с мешающим воздействием эффекта электрического

эха. Более детальный анализ свойств заявляемой функции дает основания предполагать ее реализацию в форме безгистерезисного эхограждителя, который при допустимых (и заявляемых) значениях задержки, вносимой этой функцией, будет вызывать в передаваемом сигнале значительные специфические динамические искажения, оказывающие раздражающее действие на абонентов. Кроме того, использование АРС со встроенным эхограждителем (а не ЭК) будет вызывать систематические сбои функции подавления эхосигналов в этих условиях, в ещё большей степени снижая качество телефонной передачи.

Более качественное подавление эхосигналов, приходящих со стороны мобильного абонента, может быть обеспечено путем использования «честного» эхограждителя, мало чувствительного к влиянию факторов, дестабилизирующих работу ЭК.

В качестве эхограждителя (ЭЗ), подавляющего эхосигналы со стороны АРС, целесообразно использовать ЭЗ, обозначенный в Руководящем документе по ОГСТФС [6] как эхограждитель с улучшенной динамикой работы (например, отечественный КЭЗ-А.Ц02), который предоставляет возможность подавления эхосигналов, возникающих на дальнем конце канала при времени концевой задержки до 1 с;

**Подавление эхосигналов, приходящих на ССПС со стороны ТфОП.** Условия работы ЭК на сети могут быть в некоторой степени облегчены с точки зрения снижения влияния дестабилизирующих факторов. Для этого следует:

- выставить нулевое значение усиления на всех транскодерах сети и по возможности привести диаграмму уровней сигналов при мобильном соединении к значениям, принятым для диаграммы уровней наземного соединения, для чего следует в тракт передачи сигнала от ЦК СПС к мобильному абоненту внести затухание, численно равное номинальному значению остаточного затухания 7 дБ (это затухание во многих случаях может быть внесено регулировкой транскодеров; при отсутствии такой возможности целесообразно использовать автономные внешние устройства или активизировать встроенную функцию коррекции диаграммы уровней в ЭПУ, если она поддерживается);

- функцию VAD (Voice Activity Detector) передачи речевого сигнала в канал только в случае его обнаружения детектором речи следует дезактивировать; эта мера позволит снизить степень клиппирования передаваемой речи;

- привести показатели синхронизации в соответствие с требованиями, предъявляемыми к мобильным сетям;

- на проблемных направлениях провести измерение диаграммы уровней в соединениях, отрегулировать ее в соответствии с принятыми нормами и провести измерение статистики затухания эхосигналов; измеренные значения затухания ниже 12 дБ (во всем диапазоне частот или по виду импульсной характеристики) свидетельствуют о возможной неправильной настройке балансных контуров оконечных дифференциальных систем аналоговых систем передачи (или неправильной программной настройке фильтров кофидеков цифровых коммутационных станций);

- на тех направлениях, где мешающее воздействие факторов, дестабилизирующих работу ЭК, сохраняет значимый уровень, для подавления эхосигналов следует использовать эхограждители; еще более радикальным решением для проблемных направлений является использование тандема, состоящего из ЭЗ и ЭК с выключенным НП, такой тандем обе-

спечит наилучшую стабильность подавления эхосигналов и высокое качество телефонной передачи. Особенно актуально использование ЭЗ в соединениях с абонентами аналоговых сетей доступа, где в полной мере проявляются все возможные факторы, дестабилизирующие работу ЭК.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ETSI EN 300 961 V6.0.1.
2. ETSI. Recommendation GSM 3.50.
3. ITU-T. Recommendation G.114. One-way transmission time. ITU, 1996.
4. **Шаврин С.С.** Проблема подавления эффекта электрического эха в современных телекоммуникационных системах//Материалы Международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения» INTERMATIC-2006. — М.: МИРЭА. — 2006. — часть 2.
5. Аппаратура эхограждения и эхокомпенсации для линий связи. ОСТ 45.97—97.
6. Руководящий документ по общегосударственной системе автоматизированной телефонной связи (ОГСТФС). «Требования по установке эхоподавляющих устройств». — М. — 1997.
7. Генеральная схема создания и развития федеральной сети подвижной радиотелефонной связи общего пользования России стандарта GSM (Одобрено решением ГКЭС от 25.12.2002 № 50). — М. — 2003.
8. ITU-T Recommendation Q.767 Application of the ISDN user part of CCITT Signalling System No. 7 for international ISDN interconnections. — ITU. — 1991.
9. ITU-T Recommendation Q.115 Logic for the control of echo control devices. — ITU. — 2000.

*Получено 4.07.08*