

Цифровые речевые ВЧ каналы II

Качество цифровых речевых ВЧ каналов

Система передачи

Для объективной оценки качества цифровых речевых каналов можно использовать метод «рассчитываемого планируемого параметра ухудшения» - ICPIF (calculated planning impairment factor) ITU-T G.113:

$I_{tot} = I_o + I_q + I_{dte} + I_{dd} + I_e - A$, где

I_o – определяется несогласованностью уровней сигнала и вносимым шумом,

I_q – определяется разрядностью обработки,

I_{dte} - определяется акустическим эхом от дальнего конца,

I_{dd} - определяется задержкой передачи сигнала в одном направлении,

I_e - определяется работой вокодеров¹⁴ (методом сжатия)

A - фактор ожидания ухудшения качества передачи

Если отбросить первые три параметра (ITU-T G.113 это допускает), связанные с:

- разрядностью устройств обработки (АЦП, процессоры и т.д.) – в G.113 этот параметр определяется для 7 и 8 разрядных устройств, и не имеет смысла для 16 и 32 разрядных,
- рассогласованием уровней – по сути, не имеющим отношения к качеству системы передачи, а характеризующим качество и правильность исполнения интерфейсных окончаний системы,
- эхом – комплексным параметром, определяемым как качеством системы передачи и интерфейсных окончаний, так и качеством устройств самого пользователя,

то величина параметра ухудшения составит

$I_{tot} = I_{dd} + I_e - A$

и будет характеризовать качество системы передачи, как таковой.

По ITU-T G.113 I_{dd} равно

Задержка, мс	I_{dd}
150	0
200	3
250	10
300	15
400	25
500	30
600	35
800	40
> 800	40

¹⁴ Термин «вокодер» здесь используется для общего обозначения класса устройств, позволяющих передавать речевые сигналы через цифровые каналы (каналы данных) – ИКМ, АДИКМ, кодеры формы, вокодеры, синтезирующие кодеки и т.д.

I_e равно $\sum(K_i)$, где K_i - параметры, характеризующие работу вокодера

вокодер	Ср (скорость), кБит/с	K_i
PCM (G.711)	64	0
ADPCM (G.726, G.727)	40	2
	32	7
	24	25
	16	50
	CS-ACELP, CA-CELP (G.729, G.729a)	8
G.729a + VAD (ETSI TS 101 329-5)	8	11
LD-CELP(G.728)	16	7
	12.8	20
G.723.1 + VAD (ETSI TS 101 329-5)	6.3	15
VSELP (IS 54, USA)	8	20
RPE-LTP (GSM)	13	20

Зависимость K_i от числа потерянных пакетов (ошибок в канале связи, что особенно характерно для потерь от шумов короны) в соответствии с ITU-T P.861 по PSQM (perceptual speech quality measurement) можно определить как:

потери пакетов, %	K_i - PCM (G.711)	K_i - CS-ACELP, CA-CELP (G.729, G.729a)
0	0	10
1	8	15
2	12	20
3	18	25
4	22	30
5	26	34
6	28	38
7	30	40
8	32	42
9	34	44

Для сжимающих вокодеров допустимо терять в канале до 3% пакетов, для кодирующих или преобразующих – 1%.

A равно

тип связи	A
проводная	0
фиксированный радиодоступ	5
сотовая и подвижная	10
спутниковая, телефонная для трудно доступных мест	20
IP	15 ... 30

Параметр **A** не что иное, как выравнивание потребительских свойств различных каналов передачи. В самом деле: нельзя от мобильной связи требовать качества каналов, организуемых по волоконно-оптическим трактам. Заранее известно, что качество мобильной связи хуже проводной, и хуже на величину **A = 10**.

В итоге получается значение **Itot**, характеризующее качество работы системы передачи

Itot	качество передачи
5	очень хорошее
10	хорошее
20	удовлетворительное
30	иногда плохое (ограниченное использование)
45	часто плохое
55	неудовлетворительное

Рассмотрим несколько каналов связи без учета искажений от эхо-сигнала **Idte** (по ITU-T G.113 это допустимо).

параметр	Проводная связь	Внутренняя связь	Цифровая мобильная связь	спутниковый участок	Цифровая РР (ИКМ)	Цифровая РР 3% потеря пакетов	АМХ500/7,3 кГц	АМХ500/3,3 кГц	АМХР-2/3,3/7,3 кГц	АМХР-1/3,1 кГц	АМХР-1/3,1 кГц 1% потеря пакетов
Io	0	0	7	11	0	0	0	0	0	0	0
Idd	3	3	0	30	3	21	15	25	15	3-10	25
Ie	7	7	20	7	10	10	20	20	13	13	13
A	0	5	10	20	5	5	30	30	20	10-20	20
Itot	10	5	17	28	8	26	5	15	8	6-3	18
Качество передачи	хорошее	очень хорошее	удовлетворительно	по согласованию	хорошее	по согласованию	очень хорошее	хорошо или удовлетворительно	хорошее	очень хорошее	удовлетворительно

Таким образом, по классификации ITU-T G.113 каналы цифровой ВЧ связи, организованные на АМХР, можно использовать наряду со спутниковыми речевыми каналами и мобильной связью высшего качества. Каналы на АМХ500 – как альтернативу VoIP (служебная связь) хорошего качества.

По другим классификациям

	класс	лучший	хороший	средний	плохой
Задержка	ETSI TS 101 329	< 150	< 250	< 350	< 450
Задержка	ITU-T G.114	< 150	< 260	< 400	> 400
MOS	(ITU-T P.800, P.830)	> 4.5	4.0 ... 4.5	3.5 ... 4.0	3.0 ... 3.5
тип канала		ТФОП	спутниковый	ТФОП + спутниковый	допустимо для VoIP
место AMX			AMXP/4	AMX500/8	AMX500/4

Следовательно, речевые каналы, организованные на AMXP, можно использовать наряду со спутниковыми каналами для организации технологической связи. Каналы, построенные на AMX500, можно использовать для служебных каналов «точка-точка» среднего качества.

По классификации QUASIMODO (EURESCOM) каналы с AMX500 можно использовать для оказания интерактивных услуг среднего качества (уровень VoIP), а каналы с AMXP - для оказания не интерактивных услуг (аудио реального времени) высокого качества и услуг реального времени (web, e-commerce) среднего качества.

Интерфейсные окончания и эхо

В величине параметра ухудшения

$$I_{tot} = I_o + I_q + I_{dte} + I_{dd} + I_e - A$$

эти два возмущающих фактора учитываются с помощью I_o и I_{dte} . Значением I_q , как было сказано ранее, можно пренебречь.

Величина I_o по ITU-T G.113 вычисляется как

$$I_o = I_r(OLR) + I_n(N_c), \text{ где}$$

OLR - параметр учитывающий распределение уровней в системе, или, другими словами, потерю громкости от рта говорящего до уха слушающего,

N_c - собственный шум канала связи (вносимый), dBm0p.

по ITU-T G.111 OLR рассчитывается как

$$OLR = SLR + RLR + CLR, \text{ где}$$

SLR - уровень передачи (по ITU-T G.121 SLR равно 7 ... 9, для длинных линий допускается SLR 7 ... 15),

RLR - уровень приема (по ITU-T G.121 RLR равно 1 ... 3, для длинных линий допускается RLR 1 ... 6),

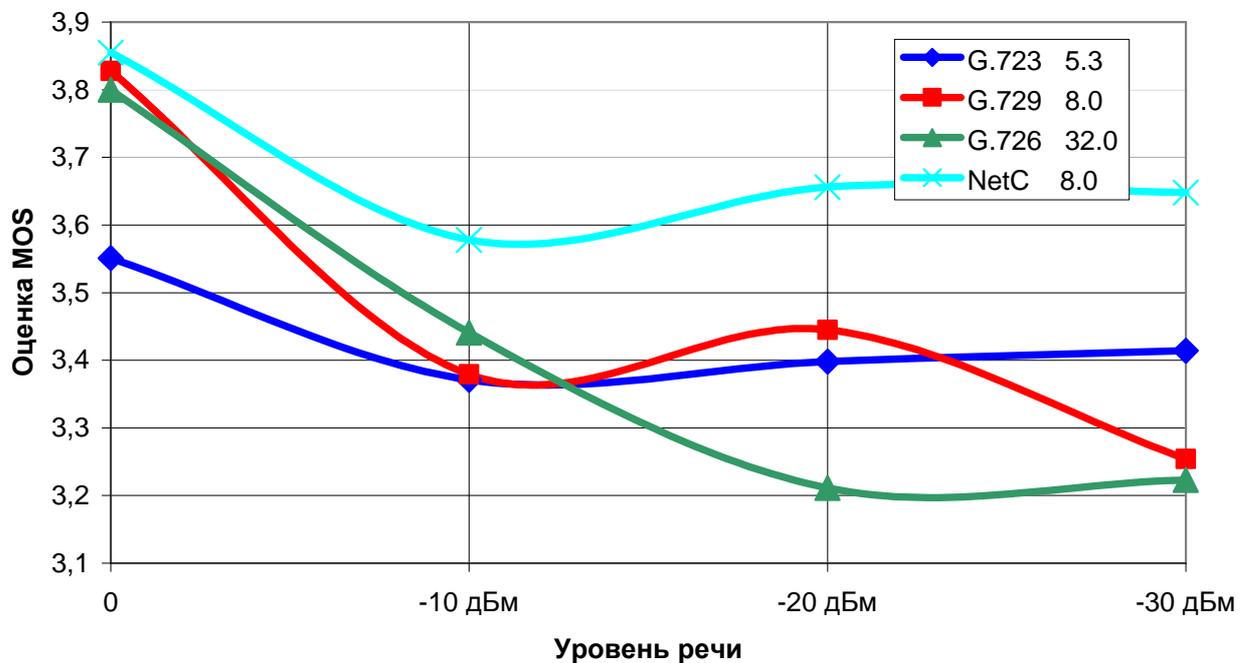
CLR - затухание в канале (0 ... 0.5 дБ)

по ITU-T G.111 OLR должно лежать в диапазоне 8 ... 12, а в большинстве практических случаев не должно превышать 10.

OLR (dB)	l _r
5....10	0
15	7
20	14
25	21

N _c (dBm0p)	l _n
≤60	0
-60	4
-50	15
-40	30

Цифровые речевые каналы, кроме того, имеют специфическую реакцию на изменения уровня громкости речевого сигнала. Качество работы вокодера зависит от уровня входного сигнала. И если при номинальном уровне сигнала -10 дБм характеристики вокодеров примерно одинаковы, то при отклонении от номинала различия становятся существенными. Наиболее стабильная амплитудная характеристика у вокодеров G.723 и NetCoder. Шепот кроме них ни один вокодер передать не может.

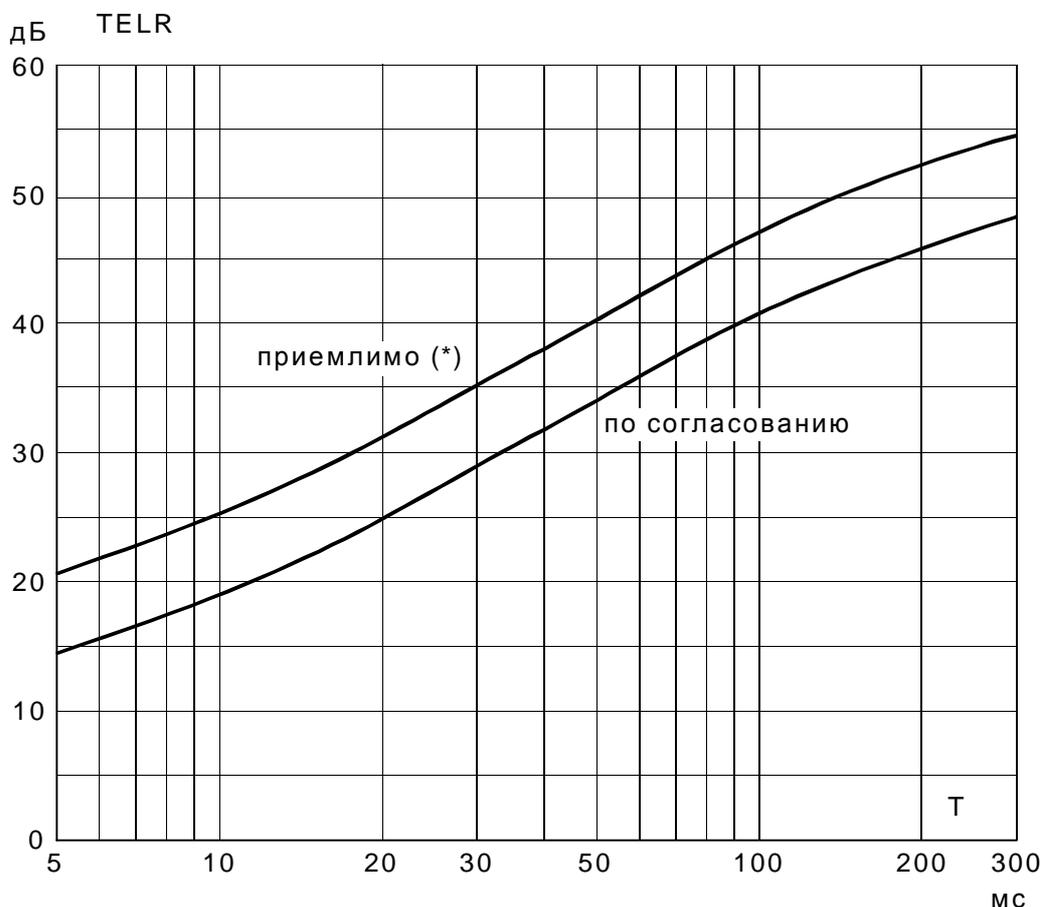


Ситуация с акустическим эхом **ldte** сложнее.

С одной стороны заметность эха зависит от качества системы передачи (в основном от величины задержки распространения), с другой стороны – от качества исполнения интерфейсных окончаний системы передачи и устройств пользователя.

Акустическое эхо в некоторых случаях может маскироваться большими шумами или сильными паразитными сигналами. Но для оценки качества системы этим пользоваться нельзя (хотя в современные цифровые системы отчасти и по этой причине специально вводят генератор «розового» шума).

Для оценки **ldte** по ITU-T G.113 используют отклонение измеренного уровня эха от «1% вероятностной кривой», приведенной в ITU-T G.131 и для полностью цифровых систем принимаемой как опорное значение.



- TELР акустическое эхо
- T задержка передачи в одну сторону
- (*) приемливо = "1%" вероятность появления не желательного эха

Принцип простой: для заданного/полученного времени передачи в одном направлении T, реально измеренный уровень акустического эха **TELР** сравнивается с опорным значением **TELРс**, полученным из графика, и далее, находится **Idte**.

(TELР – TELРс) (dB)	Idte
15	0
10	3
5	8
0	17
-5	30
-10	40
-15	50

Величину **TELР** можно рассчитать. По ITU-T G.121, G.131 и G.122

$$\text{TELР} = \text{SLР} + \text{RLР} + \text{Le}$$

$$\text{Le} = \text{R} + \text{T} + \text{Lr}, \text{ где}$$

R и T – внутри системные уровни приема и передачи, соответственно,
Lr - балансные возвратные потери (диффсистема)

По ITU-T G.121 **R+T** должно лежать в диапазоне значений 3 ... 9 дБ. Типичное значение – 6 дБ. Причем в ITU-T G.122 вместо **R+T** рекомендуется использовать значение **2*T**.

Lr по ITU-T G.122 отличается от классических возвратных потерь тем, что являются мерой рассогласования диффсистемы – перехода от 4-х проводных окончаний к 2-х проводным.

Тогда, зная величины **SLR**, **RLR**, **R+T** и **Lr** по графику можно определить максимально допустимое время передачи в одном направлении.

SLR	RLR	R+T	Lr	TELR	T
7	2	6	14	30	18 ... 33 мс
7	3	6	8	24	9 ... 19 мс
2	1	6	8	17	7 мс

Или, зная время передачи, определить допустимые балансные возвратные потери.

Модул.	AMX500							AMXP						
	полоса	1.0 kHz	1.4 kHz	1.7 kHz	2.1 kHz	3.1 kHz	3.3 ¹⁵ kHz	7.0 kHz	3.1 ¹⁶ kHz	1.0 kHz	1.4 kHz	1.7 kHz	2.1 kHz	3.1 kHz
Сарр, кБит/с	8,8	12,8	15,2	19,2	28,8	28,8	64	28,8	8,8	12,8	15,2	19,2	28,8	64
Тс-к, мс	632	477	361	324	193	193	100	120	632	477	361	324	193	100

мультиплексор	AMX500	AMXP
Тм, мс	120	20

вокодер	AMX500								AMXP
Ср, кБит/с	16	14,4	9,6	8,0	7,2	4,8	2,4	4,8	4,8
Тв, мс	80	80	80	80	80	120	200	68 - 80	

	полоса	Сарр	Тс-к	Тм	Ср, кБит/с	Тв	Тсум	TELR	Lr
AMX500	7,3	64	100	120	7,2	80	300	48	38
AMX500	3,3	28,8	193	120	7,2	80	393	51	41
AMXP-2	7,3	64	100	20	4,8	80	200	46	36
AMXP-2	3,3	28,8	193	20	4,8	80	293	47,5	37,5
AMXP-1	3,1	28,8	120	20	4,8	80	220	46,5	36,5

Таким образом, балансные возвратные потери **Lr** (переходное затухание в диффсистеме) не должны быть менее 41 дБ.

Обеспечить такую «развязку» в старых телефонных аппаратах или аппаратуре типа АДАСЭ практически не возможно. Это должно привести к тому, что в цифровых

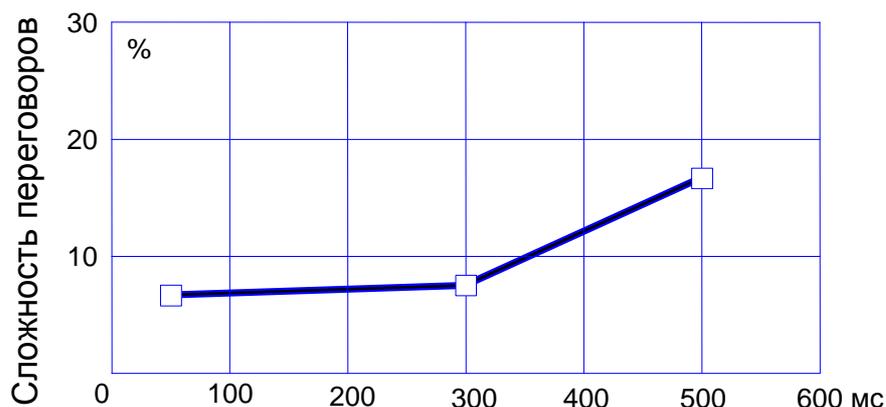
¹⁵ Возможно только для ВЧ каналов реализованных на ETL500

¹⁶ Модулятор первого типа. В AMXP используются модуляторы двух типов. Сигнал-конвертер второго типа аналогичен, используемому в AMX500. В качестве модулятора так же может использоваться FSK модем.

речевых ВЧ каналах (ЦВЧ), реализованных на AMX500, будет наблюдаться сильное далекое эхо. Каналы, построенные на аппаратуре AMXP, подвержены этому дефекту в значительно меньшей степени.

По ITU-T G.122 4.2.4 самым эффективным средством для уменьшения акустического эха является использование 4-х проводных телефонов.

Другим очевидным решением является использование современных цифровых АТС с эхо-компенсаторами. По ITU-T G.131 величина **TCL** эквивалентная **Lr** может достигать значений 40 ... 46 дБ. По ITU-T G.114 в этом случае допустимая задержка передачи в одну сторону может быть увеличена до 500 ... 700 мс



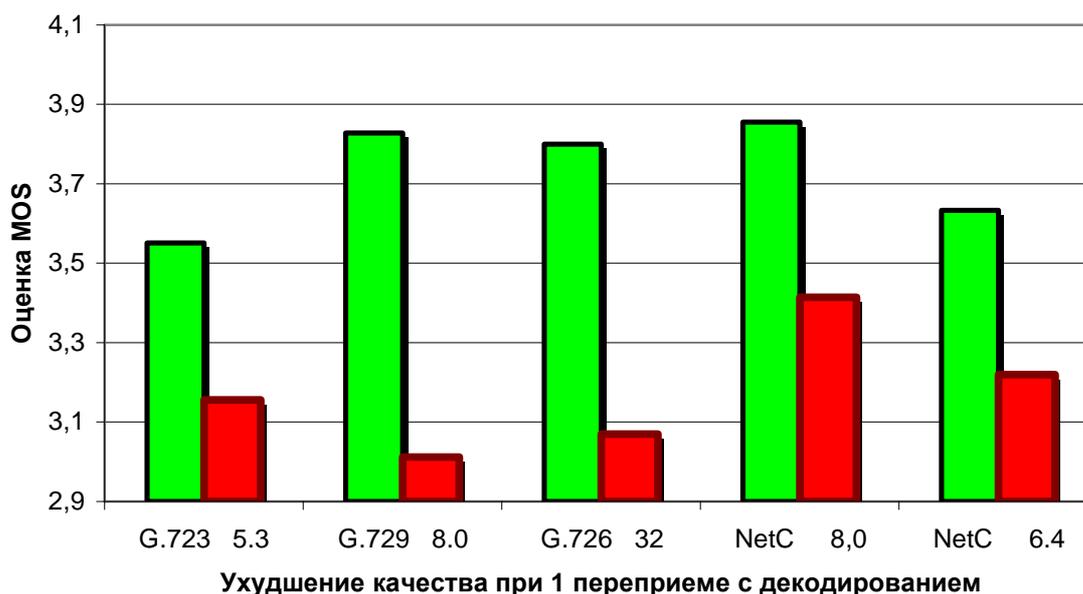
Задержка в одну сторону

В этом случае каналы, реализованные на AMX500, будут работать без дальнего эха. А в каналы, реализованные на AMXP, можно вводить один участок переприема с декодированием¹⁷ (Тсум = 400 ... 586 мс). Если же речь идет об участках регенерации¹⁸ для ЦВЧ, реализованных на AMXP, то их может быть

$$Np = (500 \dots 600 - T_{\text{сум}}) / T_{\text{с-к}} =$$

3 ... 4 – для аппаратуры AMXP-2/7,0-7,3

2 ... 3 – для устройств AMXP-1/3,1



Ухудшение качества при 1 переприеме с декодированием

¹⁷ С распаковкой агрегатного канала. При этом возможна вставка-удаление речевых каналов

¹⁸ Восстановление агрегатного цифрового потока на зашумленных или с большими искажениями линиях