

Объективная оценка качества передачи речи

E-модель, R-фактор

A decorative graphic element consisting of several horizontal lines of varying lengths and colors (teal, light blue, white) extending from the right side of the slide.

Субъективная оценка QoS речи

Субъективный метод оценки — Mean Opinion Score (MOS):

- Рекомендация МСЭ Р.800.
- Среднее значение экспертной оценки (0-5) качества речи, переданной по сети связи по нескольким критериям.
- Недостатки: субъективная, необходим функционирующий участок сети.

Для использования рекомендуется **MOS=3,5 и выше**.

MOS=3,0-3,5 приемлемо в некоторых условиях.

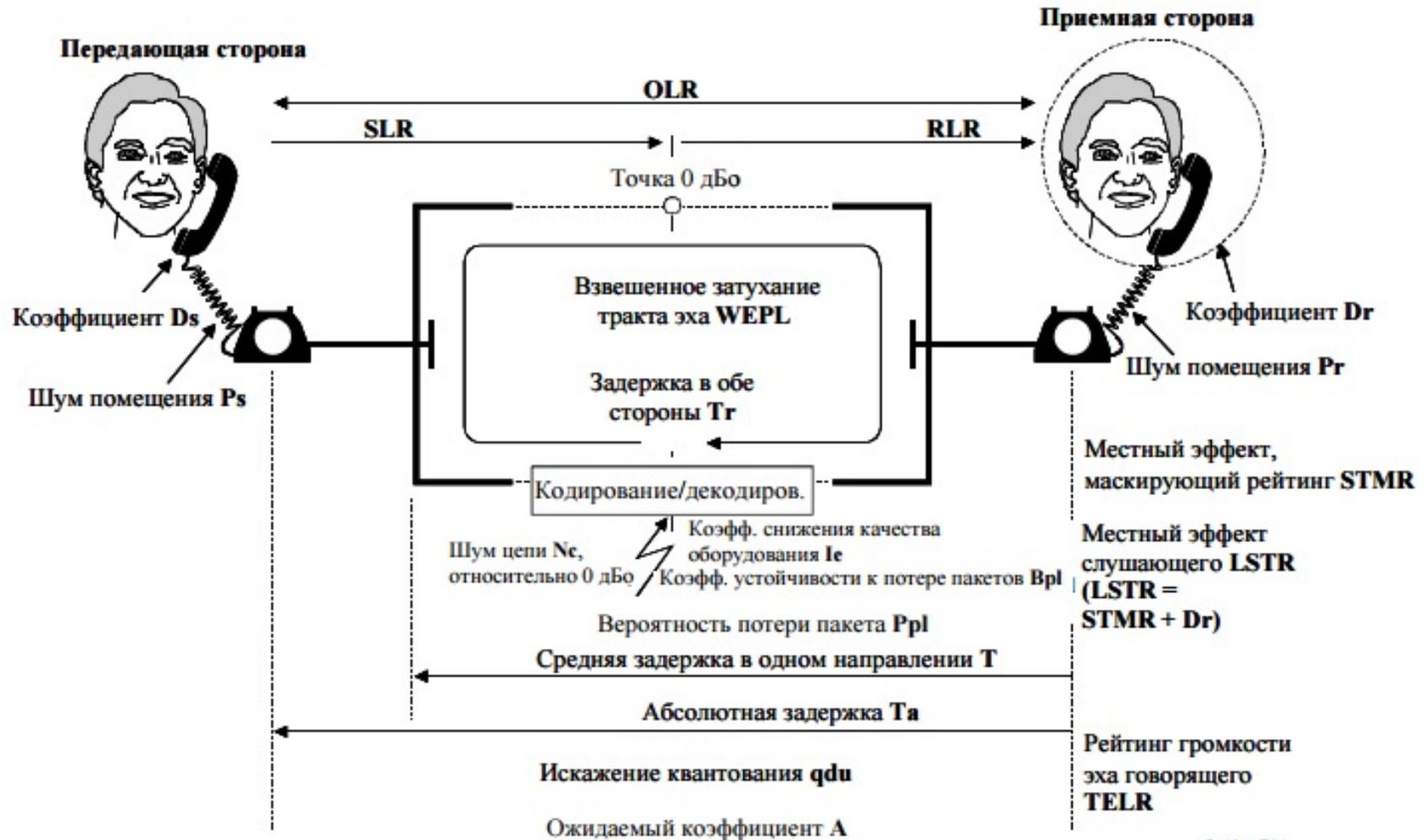
MOS=2,5-3,0 соответствует синтезированному звуку (неприемлемо).

Объективная оценка QoS речи

Объективный метод оценки — E-модель:

- Рекомендация МСЭ G.107.
- Вычислительная модель, более чем 20 параметров терминалов, линий связи, оборудования и условий разговора.
- Итог — R-фактор от 0 до 100 (иногда больше).
- Есть однозначное соответствие между R-фактором и MOS.

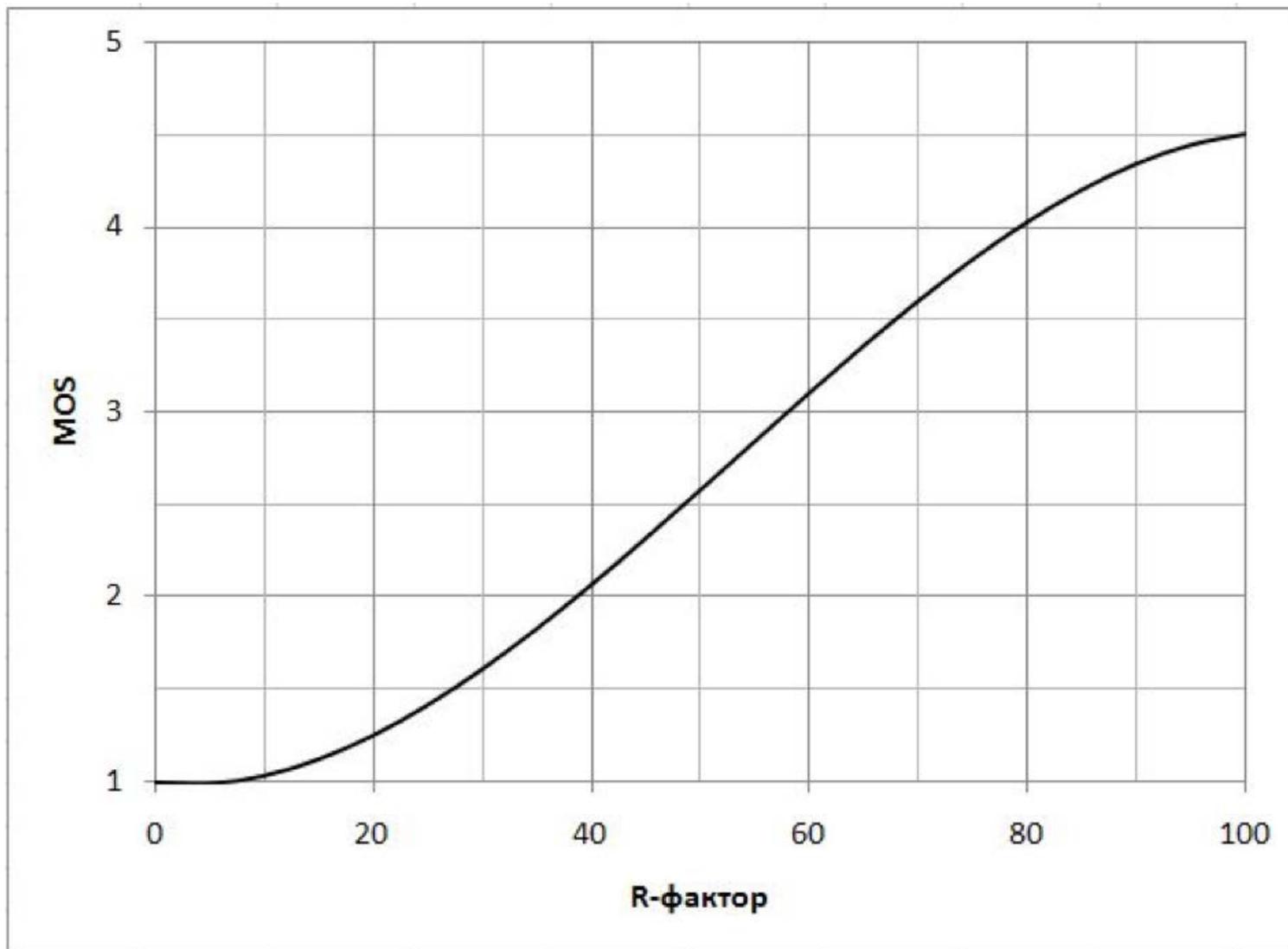
Эталонное соединение в E-модели



Оценка QoS на основе R-фактора и оценок MOS

Значение R-фактора	Категория качества и оценка пользователя	Значение оценки MOS
$90 < R < 100$	Самая высокая (отлично)	4,34 — 4,50
$80 < R < 90$	Высокая (хорошо)	4,03 — 4,34
$70 < R < 80$	Средняя (приемлемо: часть пользователей оценивает качество как неудовлетворительное)	3,60 — 4,03
$60 < R < 70$	Низкая (плохо: большинство пользователей оценивает качество как неудовлетворительное)	3,10 — 3,60
$50 < R < 60$	Неприемлемая (не рекомендуется)	2,58 — 3,10

Взаимосвязь оценок MOS и R-фактора



При расчете R-фактора учитываются 20 параметров, среди которых

- Однонаправленная задержка;
- Коэффициент потери пакетов;
- Потери данных из-за переполнения буфера джиттера;
- Искажения, вносимые при преобразовании аналогового сигнала в цифровой и последующем сжатии (обработка сигнала в кодеках);
- Влияние эхо и др.

Расчет R-фактора

R-фактор вычисляется по следующей формуле:

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_{e\text{-eff}} + A$$

- где:
 - $R_0 = 93,2$ — исходное значение R-фактора;
 - I_s — коэффициент одновременного снижения качества (искажения, вносимые кодеками и шумами в канале);
 - I_d — искажения за счет суммарной сквозной задержки ("из конца в конец") в сети;
 - $I_{e\text{-eff}}$ — искажения, вносимые оборудованием, включая и потери пакетов;
 - A — так называемый фактор преимущества.
- Фактор R_0 представляет собой базовое отношение сигнал-шум, включающее в себя шумы от различных источников. Если все входные параметры E-модели равны своему значению по умолчанию, то $R=R_0=93,2$.

Коэффициент одновременного снижения качества (искажения вносимые кодеками и шумами в канале), I_s

Фактор I_s отражает ухудшение качества из-за факторов, которые могут произойти более или менее одновременно с передачей речи:

- тихий звук,
- неоптимальный местный эффект,
- шумы квантования

и вычисляется по формуле:

$$I_s = I_{olr} + I_{st} + I_q$$

Расчет I_s

$$I_s = I_{olr} + I_{st} + I_q$$

I_{olr} — снижение качества, вызванное слишком низкими значениями громкости сигнала.

I_{st} — снижение качества, вызванное неоптимальным местным эффектом.

I_q — снижение качества, вызванное искажениями квантования.

Искажения за счет суммарной сквозной задержки, I_d

Слагаемое I_d выражает ухудшение качества речи, вызванное большой задержкой и эффектами эха и вычисляется по формуле:

$$I_d = I_{dte} + I_{dle} + I_{dd}$$

Расчет I_d

$$I_d = I_{dte} + I_{dle} + I_{dd}$$

I_{dte} — снижение качества из-за эха говорящего.

I_{dle} — снижение качества из-за эха слушающего.

I_{dd} — снижение качества, вызванное длительной абсолютной задержкой, T_a .

Пример расчета I_{dd}

Определение I_{dd} :

T_a – абсолютная задержка передачи сигнала в сети при соединении без эха.

При $T_a \leq mT$ (100 мс) : $I_{dd} = 0$

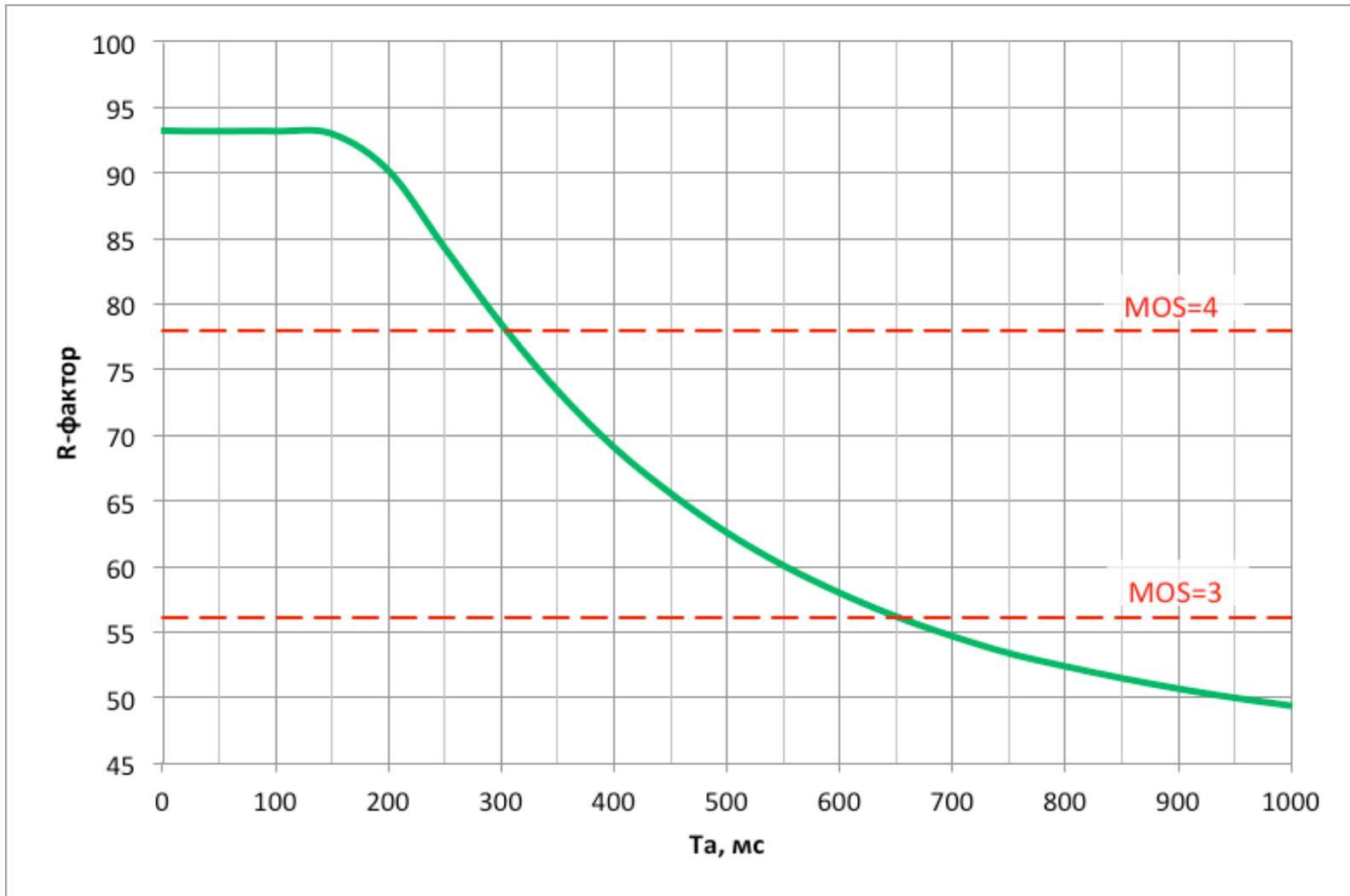
При $T_a > mT$ (100 мс) :

$$I_{dd} = 25 \left\{ \left(1 + X^{6 \cdot sT} \right)^{\frac{1}{6 \cdot sT}} - 3 \left(1 + \left[\frac{X}{3} \right]^{6 \cdot sT} \right)^{\frac{1}{6 \cdot sT}} + 2 \right\}$$

$$sT = 1$$

$$X = \frac{\log\left(\frac{T_a}{mT}\right)}{\log 2}$$

Зависимость R-фактора от абсолютной задержки



Искажения, вносимые оборудованием, I_{e-eff}

Коэффициент снижения эффективности оборудования I_{e-eff} отражает ухудшения качества, вызванные кодеками и потерей пакетов.

$$I_{e-eff} = I_e + (95 - I_e) \cdot \frac{P_{pl}}{\frac{P_{pl}}{BurstR} + B_{pl}}$$

Расчет I_e -eff

I_e – коэффициент снижения качества при отсутствии потерь пакетов.

B_{PI} – коэффициент устойчивости конкретного кодека к потерям пакетов.

P_{PI} – вероятность потери пакетов (в %),

BurstR – коэффициент всплеска, характеризующий характер потери пакетов:

- потери пакетов случайны $BurstR = 1$.
- потери пакетов происходит со всплесками $BurstR > 1$.

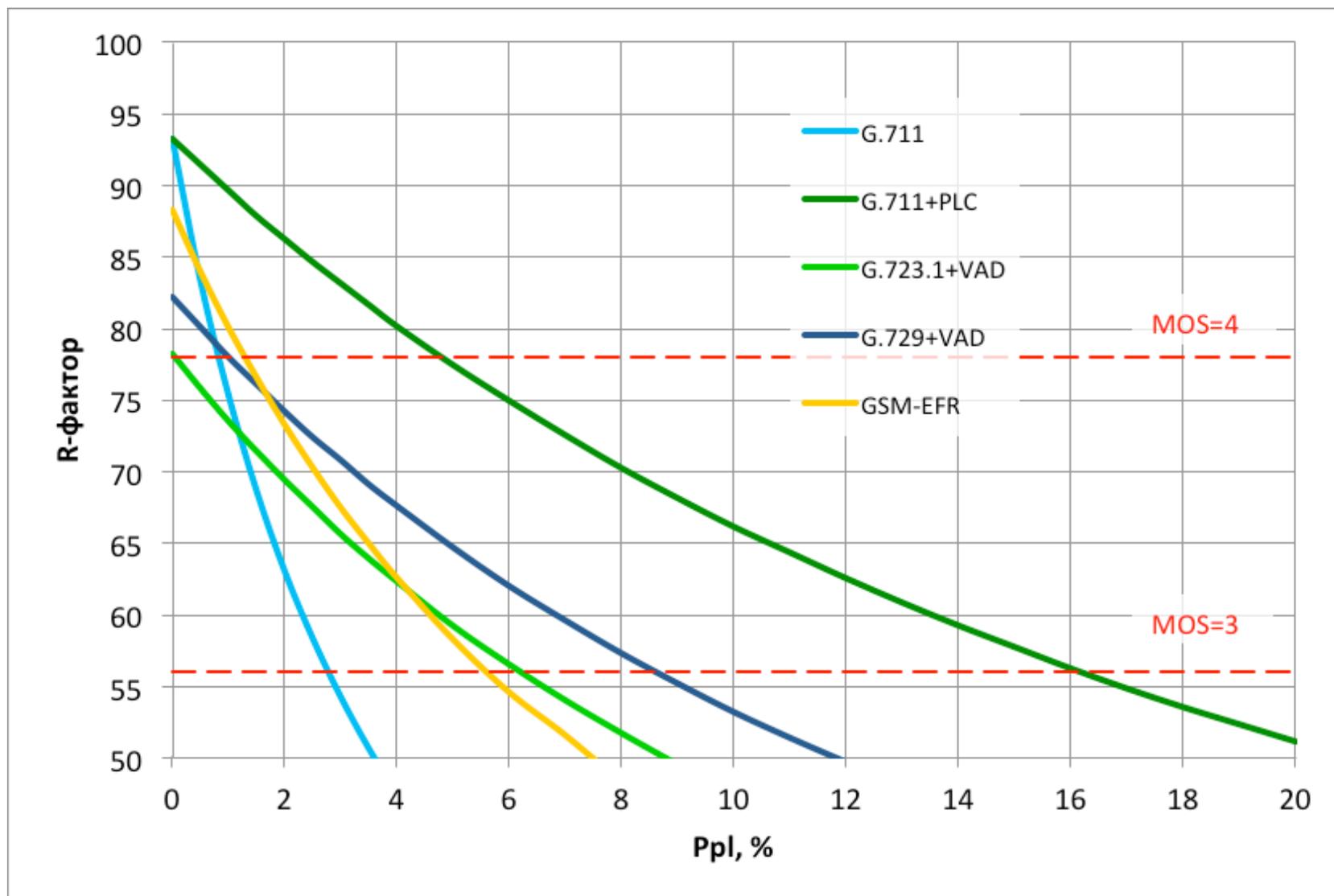
Показатель I_e -eff для кодеков

Кодек	MOS	Коэффициент I_e	Коэффициент B_{pl}
G.711	4,2	0	4,3
G.711+PLC	4,2	0	25,1
G.723.1+VAD (6,3)	3,9	15	16,1
G.723.1+VAD (5,3)	3,62	19	16,1
G.729A+VAD	3,92	11	19,0
GSM-EFR	3,8	5	10,0

Типы кодеков и их характеристики

Кодек	Скорость передачи, кбит/с	Длительность датаграммы, мс	Задержка пакетизации, мс	Полоса пропускания для двунаправленного соединения, кГц	Задержка в буфере джиттера	Теоретическая максимальная оценка MOS
G.711u	64	20	1	174,4	2 дейтаграммы, 40 мс	4,4
G.711a	64	20	1	174,4	2 дейтаграммы, 40 мс	4,4
G.726-32	32	20	1	110,4	2 дейтаграммы, 40 мс	4,22
G.729	8	20	25	62,4	2 дейтаграммы, 40 мс	4,07
G.723m	6,3	30	67,5	43,73	2 дейтаграммы, 60 мс	3,87
G.723a	5,3	30	67,5	41,6	2 дейтаграммы, 60 мс	3,69

Зависимость R-фактора от потерь



Коэффициент A

Коэффициент выигрыша **A** введен в E-модель для компенсации коэффициентов ухудшений:

Пример системы связи	Максимальное значение A
Обычная (проводная)	0
Мобильная связь в здании	5
Мобильная связь в удаленном районе или в транспортном средстве	10
Связь в труднодоступном месте, например спутниковая	20

Значения основных параметров E-модели (1)

Параметр	Аббрев.	Единицы	Значение по умолчанию	Разрешенный диапазон	Замечание
Рейтинг громкости передачи	SLR	дБ	+8	0 ... +18	(Прим. 1)
Рейтинг громкости приема	RLR	дБ	+2	-5 ... +14	(Прим. 1)
Рейтинг маскировки местного эффекта	STMR	дБ	15	10 ... 20	(Прим. 2)
Рейтинг местного эффекта слушающего	LSTR	дБ	18	13 ... 23	(Прим. 2)
Значение D телефона на передающей стороне	Ds	-	3	-3 ... +3	(Прим. 2)
Значение D телефона на приемной стороне	Dr	-	3	-3 ... +3	(Прим. 2)
Рейтинг громкости эха говорящего	TELR	дБ	65	5 ... 65	
Взвешенное затухание канала эха	WEPL	дБ	110	5 ... 110	
Средняя задержка канала эха в одном направлении	T	мс	0	0 ... 500	
Задержка в двух направлениях в 4-проводной замкнутой цепи	Tr	мс	0	0 ... 1000	
Абсолютная задержка в соединениях, свободных от эха	Ta	мс	0	0 ... 500	

Значения основных параметров E-модели (2)

Число устройств с искажением квантования	qdu	–	1	1 ... 14	
Коэффициент снижения качества оборудования	Ie	–	0	0 ... 40	
Коэффициент устойчивости к потере пакетов	Bpl	–	1	1 ... 40	(Прим. 3)
Вероятность случайной потери пакетов	Ppl	%	0	0 ... 20	(Прим. 3)
Коэффициент всплеска	BurstR	–	1	1 ... 2	(Прим. 3)
Шум цепи относительно точки 0 дБо	Nc	дБм0п	–70	–80 ... –40	
Пороговый шум на стороне приема	Nfor	дБмп	–64	–	(Прим. 3)
Шум помещения на стороне передачи	Ps	дБ(А)	35	35 ... 85	
Шум помещения на стороне приема	Pr	дБ(А)	35	35 ... 85	
Коэффициент выигрыша	A	–	0	0 ... 20	

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Общие величины между микрофоном или приемником и точкой 0 дБо.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Постоянное отношение: $LSTR = STMR + D$.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – В настоящее время изучается.

Калькулятор R-фактора

Онлайн-калькулятор R-фактора + перевод в MOS:

<http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com12/emodelv1/calcul.php>

Google: «ITU R Value Calculation»

<http://www.voiptroubleshooter.com/diagnosis/emodel.html>

Parameter	ID	Default	Value	Dimension
Electric Circuit Noise	Nc	(-70)	<input type="text" value="-70"/>	dBm0p
Noise Floor	Nfor	(-64)	<input type="text" value="-64"/>	dBmp
Room Noise (Send)	Ps	(35)	<input type="text" value="35"/>	dB(A)
Room Noise (Receive)	Pr	(35)	<input type="text" value="35"/>	dB(A)
Send Loudness Rating	SLR	(8)	<input type="text" value="8"/>	dB
Receive Loudness Rating	RLR	(2)	<input type="text" value="2"/>	dB
Sidetone Masking Rating	STMR	(15)	<input type="text" value="15"/>	dB
D-factor (Receive)	Dr	(3)	<input type="text" value="3"/>	
Listener's Sidetone Rating	LSTR	STMR+Dr	<input type="text" value="18"/>	dB
D-factor (Send)	Ds	(3)	<input type="text" value="3"/>	
Mean One-Way Delay	T	(0)	<input type="text" value="0"/>	ms
Absolute Delay from (S) to (R)	Ta	(=T)	<input type="text" value="0"/>	ms
Round-Trip Delay	Tr	(=2T)	<input type="text" value="0"/>	ms
Talker Echo Loudness Rating	TELR	(65)	<input type="text" value="65"/>	dB
Weighted Echo Path Loss	WEPL	(110)	<input type="text" value="110"/>	dB
Quantizing Distortion Units	qdu	(1)	<input type="text" value="1"/>	
Equipment Impairment Factor	Ie	(0)	<input type="text" value="0"/>	
Packet-loss Robustness Factor	Bpl	(1)	<input type="text" value="1"/>	
Packet-loss Probability	Ppl	(0)	<input type="text" value="0"/>	%
Burst Ratio	BurstR	(1)	<input type="text" value="1"/>	
Advantage Factor	A	(0)	<input type="text" value="0"/>	

Results

Calculated R-Factor **R**

Mean Opinion Score **MOS_{CEP}**

Options

T=Ta=Tr/2