

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.107

(06/2015)

СЕРИЯ G: СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ,
ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Международные телефонные соединения и цепи –
Планирование передачи и E-модель

**E-модель – вычислительная модель,
используемая при планировании передачи**

Рекомендация МСЭ-Т G.107

РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ G
СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ, ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

| | |
|--|--------------------|
| МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТЕЛЕФОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ЦЕПИ | G.100–G.199 |
| Планирование передачи и E-модель | G.100–G.109 |
| Общие Рекомендации по качеству передачи для полного международного телефонного соединения | G.110–G.119 |
| Общие характеристики национальных систем как части международных соединений | G.120–G.129 |
| Общие характеристики 4-проводного канала, образованного международными сетями и сетями национального продления | G.130–G.139 |
| Общие характеристики 4-проводного канала международных сетей; международный транзит | G.140–G.149 |
| Общие характеристики международных телефонных сетей и сетей национального продления | G.150–G.159 |
| Аппаратура, относящаяся к международным телефонным сетям | G.160–G.169 |
| Аспекты плана передачи специальных сетей и соединения, использующие сеть международных телефонных соединений | G.170–G.179 |
| Защита и восстановление систем передачи | G.180–G.189 |
| Средства программного обеспечения для систем передачи | G.190–G.199 |
| ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОБЩИЕ ДЛЯ ВСЕХ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ | G.200–G.299 |
| ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЛИНИЯМ | G.300–G.399 |
| ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ИЛИ СПУТНИКОВЫХ ЛИНИЙ И ИХ СОЕДИНЕНИЕ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРОВОДНЫМИ ЛИНИЯМИ | G.400–G.449 |
| КООРДИНАЦИЯ РАДИОТЕЛЕФОНИИ И ПРОВОДНОЙ ТЕЛЕФОНИИ | G.450–G.499 |
| ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ И ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ | G.600–G.699 |
| ЦИФРОВОЕ ОКОНЕЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ | G.700–G.799 |
| ЦИФРОВЫЕ СЕТИ | G.800–G.899 |
| ЦИФРОВЫЕ УЧАСТКИ И СИСТЕМА ЦИФРОВЫХ ЛИНИЙ | G.900–G.999 |
| КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ СИСТЕМ – ОБЩИЕ И СВЯЗАННЫЕ С ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ АСПЕКТЫ | G.1000–G.1999 |
| ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ | G.6000–G.6999 |
| ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ – ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ | G.7000–G.7999 |
| АСПЕКТЫ ПЕРЕДАЧИ ПАКЕТОВ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ | G.8000–G.8999 |
| СЕТИ ДОСТУПА | G.9000–G.9999 |

Для получения более подробной информации просьба обращаться к перечню Рекомендаций МСЭ-Т.

Рекомендация МСЭ-Т G.107

Е-модель – вычислительная модель, используемая при планировании передачи

Резюме

В Рекомендации МСЭ-Т G.107 приведен алгоритм для так называемой Е-модели в качестве общей модели МСЭ-Т для оценки передачи речи. Эта вычислительная модель может быть полезна проектировщикам передачи, чтобы убедиться в том, что пользователи будут удовлетворены сквозным качеством передачи. Основным результатом применения этой модели является скалярная оценка качества передачи. Главной особенностью модели является использование коэффициентов снижения качества, отражающих влияние современных устройств обработки сигналов.

В издании настоящей Рекомендации от 2000 года был представлен усовершенствованный вариант Е-модели в целях лучшего учета влияния шума помещения передающей стороны, а также искажения квантования. В издании 2002 года параметрическим методом для различных кодеков было проанализировано снижение качества, связанное со случайной потерей пакетов. Начиная с издания 2003 года приводится улучшенное моделирование качества для низких уровней местного эффекта говорящего. В издании 2005 года обеспечивается более точное прогнозирование качества для кодеков при (кратковременной) зависимой потере пакетов. Издание 2009 года содержит Дополнение II, в котором описывается предварительная концепция коэффициента снижения качества для широкополосной передачи речи. В 2011 году это Дополнение было обновлено в связи с выходом новой Рекомендации МСЭ-Т G.107.1. В действующем в настоящее время издании представлена расширенная модель, обеспечивающая оценку снижения качества вследствие задержек, которая помимо прочего в большей степени учитывает сценарии использования, менее чувствительные к задержкам. Телефонные системы операторского класса или корпоративного уровня должны оцениваться с использованием параметров чувствительности к задержкам, а системы связи с низкими или очень низкими требованиями к интерактивности могут оцениваться с использованием разных параметров. Эталонная реализация модели приведена в Дополнении III.

Хронологическая справка

| Издание | Рекомендация | Утверждено | Исследовательская комиссия | Уникальный идентификатор* |
|---------|----------------------------|---------------|----------------------------|---|
| 1.0 | МСЭ-Т G.107 | 03.12.1998 г. | 12-я | 11.1002/1000/4541 |
| 2.0 | МСЭ-Т G.107 | 18.05.2000 г. | 12-я | 11.1002/1000/5074 |
| 3.0 | МСЭ-Т G.107 | 14.07.2002 г. | 12-я | 11.1002/1000/6080 |
| 4.0 | МСЭ-Т G.107 | 16.03.2003 г. | 12-я | 11.1002/1000/6253 |
| 5.0 | МСЭ-Т G.107 | 01.03.2005 г. | 12-я | 11.1002/1000/7822 |
| 5.1 | МСЭ-Т G.107 (2005) Попр. 1 | 13.06.2006 г. | 12-я | 11.1002/1000/8864 |
| 6.0 | МСЭ-Т G.107 | 29.08.2008 г. | 12-я | 11.1002/1000/9538 |
| 7.0 | МСЭ-Т G.107 | 29.04.2009 г. | 12-я | 11.1002/1000/9730 |
| 8.0 | МСЭ-Т G.107 | 14.12.2011 г. | 12-я | 11.1002/1000/11460 |
| 8.1 | МСЭ-Т G.107 (2011) Попр. 1 | 07.06.2012 г. | 12-я | 11.1002/1000/11707 |
| 9.0 | МСЭ-Т G.107 | 13.02.2014 г. | 12-я | 11.1002/1000/12120 |
| 10.0 | МСЭ-Т G.107 | 29.06.2015 г. | 12-я | 11.1002/1000/12505 |

* Для получения доступа к Рекомендации наберите в адресном поле вашего браузера URL <http://handle.itu.int/>, после которого следует уникальный идентификатор Рекомендации. Например, <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи и информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Сектор стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т) – постоянный орган МСЭ. МСЭ-Т отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов и за выпуск Рекомендаций по ним с целью стандартизации электросвязи на всемирной основе.

На Всемирной ассамблее по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяются темы для изучения исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают Рекомендации по этим темам.

Утверждение Рекомендаций МСЭ-Т осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию МСЭ-Т, необходимые стандарты разрабатываются на основе сотрудничества с ИСО и МЭК.

ПРИМЕЧАНИЕ

В настоящей Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

Соблюдение положений данной Рекомендации осуществляется на добровольной основе. Однако данная Рекомендация может содержать некоторые обязательные положения (например, для обеспечения функциональной совместимости или возможности применения), и в таком случае соблюдение Рекомендации достигается при выполнении всех указанных положений. Для выражения требований используются слова "следует", "должен" ("shall") или некоторые другие обязывающие выражения, такие как "обязан" ("must"), а также их отрицательные формы. Употребление таких слов не означает, что от какой-либо стороны требуется соблюдение положений данной Рекомендации.

ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на вероятность того, что практическое применение или выполнение настоящей Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, действительности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, доказываются ли такие права членами МСЭ или другими сторонами, не относящимися к процессу разработки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ получил извещение об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для выполнения настоящей Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что вышесказанное может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ по адресу: <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© ITU 2017

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

СОДЕРЖАНИЕ

| | Стр. |
|---|------|
| 1 Сфера применения | 1 |
| 2 Справочные документы | 1 |
| 3 Определения | 2 |
| 3.1 Термины, определенные в других документах | 2 |
| 3.2 Термины, определенные в настоящей Рекомендации | 2 |
| 4 Аббревиатуры и сокращения | 2 |
| 5 Соглашения..... | 2 |
| 6 Е-модель – вычислительная модель, используемая при планировании передачи..... | 2 |
| 6.1 Введение | 2 |
| 7 Структура и основные алгоритмы Е-модели..... | 3 |
| 7.1 Вычисление коэффициента оценки качества передачи R | 4 |
| 7.2 Основное отношение сигнал/шум R_0 | 4 |
| 7.3 Коэффициент одновременного снижения качества I_s | 5 |
| 7.4 Коэффициент снижения качества из-за задержки I_d | 6 |
| 7.5 Коэффициент снижения качества оборудования I_e | 8 |
| 7.6 Коэффициент выигрыша A | 9 |
| 7.7 Значение по умолчанию..... | 9 |
| Приложение А – Условия использования Е-модели..... | 11 |
| А.1 Примеры условий, при которых следует проявлять осторожность в использовании Е-модели..... | 11 |
| А.2 Условия, при которых характеристики Е-модели улучшаются путем обновления ее прежней версии | 12 |
| Приложение В – Показатели качества, найденные по коэффициенту оценки качества передачи R | 15 |
| Дополнение I – Вычисление R по значениям MOS_{CQE} | 17 |
| Дополнение II – Предварительная концепция коэффициента искажений для широкополосной передачи речи | 18 |
| Дополнение III – Эталонная реализация Е-модели в Рекомендации МСЭ-Т G.107 | 19 |
| Дополнение IV – Применение Е-модели совместно с системами шумоподавления и эхоподавителями в сети или на оконечных устройствах | 20 |
| Библиография | 22 |

Рекомендация МСЭ-Т G.107

Е-модель – вычислительная модель, используемая при планировании передачи

1 Сфера применения

В данной Рекомендации описана вычислительная модель, известная как Е-модель, которая признана полезным инструментом при планировании передачи сигналов для оценки комбинированных эффектов изменения различных параметров передачи, влияющих на качество переговоров¹ по аппаратам с микротелефонными трубками в спектре телефонии 3,1 кГц. Например, эта вычислительная модель может быть использована проектировщиками передачи, чтобы убедиться в том, что пользователи будут удовлетворены сквозным качеством передачи, избегая в то же время усложнений проектирования сетей. Следует подчеркнуть, что первоначально выходом этой модели был "коэффициент рейтинга" (rating factor) R , но этот коэффициент может быть преобразован, чтобы дать оценку мнения пользователя. Такие оценки сделаны только для целей планирования передачи, а не для предсказания мнения (для которого не существует согласованной модели, рекомендованной МСЭ-Т) конкретного потребителя.

Е-модель может с уверенностью использоваться для множества комбинаций, имеющих важное значение для проектировщиков передачи, однако для некоторых особо важных комбинаций параметров прогнозы Е-модели проверяются и сейчас находятся на стадии изучения. В Приложении А приведена подробная информация по данному вопросу.

2 Справочные документы

Указанные ниже Рекомендации МСЭ-Т и другие источники содержат положения, которые путем ссылки на них в данном тексте составляют положения настоящей Рекомендации. На момент публикации указанные издания были действующими. Все Рекомендации и другие источники могут подвергаться пересмотру; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается изучить возможность применения последнего издания Рекомендаций и других источников, перечисленных ниже. Список действующих в настоящее время Рекомендаций МСЭ-Т регулярно публикуется. Ссылка на документ в данной Рекомендации не придает ему как отдельному документу статус Рекомендации.

- [ITU-T G.107.1] Рекомендация МСЭ-Т G.107.1 (2015 г.), *Широкополосная Е-модель*.
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.107.1>>
- [ITU-T G.108] Recommendation ITU-T G.108 (1999), *Application of the E-model: A planning guide*.
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.108>>
- [ITU-T G.109] Recommendation ITU-T G.109 (1999), *Definition of categories of speech transmission quality*.
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.109>>
- [ITU-T G.113] Recommendation ITU-T G.113 (2007), *Transmission impairments due to speech processing*.
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.113>>
- [ITU-T P.833] Recommendation ITU-T P.833 (2001), *Methodology for derivation of equipment impairment factors from subjective listening-only tests*.
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-P.833>>

¹ В данном контексте качество переговоров относится к характеристикам передачи, например продолжительности передачи, эффектам эха говорящего и т. п. Однако описанная в этой Рекомендации Е-модель не предназначена для моделирования снижения качества передачи в ситуации одновременного разговора.

- [ITU-T P.834] Recommendation ITU-T P.834 (2015), *Methodology for the derivation of equipment impairment factors from instrumental models*.
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-P.834>>
- [ITU-T P.863] Recommendation ITU-T P.863 (2014), *Perceptual objective listening quality assessment*.
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-P.863>>

3 Определения

3.1 Термины, определенные в других документах

Отсутствуют.

3.2 Термины, определенные в настоящей Рекомендации

Отсутствуют.

4 Аббревиатуры и сокращения

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения и акронимы:

| | | |
|--------|--|--|
| BurstR | Burst Ratio | Коэффициент всплеска |
| GoB | Good or Better | Хорошо или лучше |
| LSTR | Listener Sidetone Rating | Показатель местного эффекта слушающего |
| MOS | Mean Opinion Score | Средняя экспертная оценка |
| MNRU | Modulated Noise Reference Unit | Эталонный блок модулированного шума |
| OLR | Overall Loudness Rating | Общий показатель громкости |
| OPINE | Overall Performance Index model for Network Evaluation | Модель индекса рабочих характеристик оценки сети |
| PLC | Packet Loss Concealment | Маскирование потери пакета |
| PoW | Poor or Worse | Плохо или хуже |
| qdu | quantization distortion unit | Единица искажения квантования |
| RLR | Receive Loudness Rating | Показатель громкости приема |
| SLR | Send Loudness Rating | Показатель громкости передачи |
| STMR | Sidetone Masking Rating | Показатель маскировки местного эффекта |
| TELR | Talker Echo Loudness Rating | Показатель громкости эха говорящего |
| WEPL | Weighted Echo Path Loss | Взвешенная потеря эха в тракте передачи |

5 Соглашения

Отсутствуют.

6 E-модель – вычислительная модель, используемая при планировании передачи

6.1 Введение

Сложность современных сетей требует, чтобы при планировании передачи каждый параметр не только учитывался индивидуально, но также принимались в расчет их комбинированные действия. Это может быть сделано "экспертом, обладающим предугадыванием", но желателен более систематический подход, как, например, использование вычислительной модели. Результатом применения описанной здесь модели является скалярная величина рейтинга качества R , которая

изменяется пропорционально общему качеству разговора. В [ITU-T G.113] дано основанное на упрощении модели руководство по конкретным видам снижения качества, включая комбинированные эффекты. Однако результатом могут также быть номинальные оценки реакций пользователей, например в форме процентов, которыми оценивают моделированное соединение: "хорошо или лучше" (GoB) или "плохо или хуже" (PoW), как это описано в Приложении В. Кроме того, подробное руководство по соответствующему применению E-модели – как это описано в данной Рекомендации – приведено в [ITU-T G.108]. Дополнительно определение категорий качества передачи можно найти в [ITU-T G.109].

7 Структура и основные алгоритмы E-модели

E-модель основана на методе коэффициентов снижения качества оборудования, который логически вытекает из предшествующих моделей оценки качества передачи. Метод был разработан специальной группой ETSI по качеству передачи речи ото рта к уху (Voice Transmission Quality from Mouth to Ear).

Эталонное соединение, показанное на рисунке 1, разделено на передающую и приемную стороны. Модель оценивает качество разговора ото рта к уху, как это воспринимается пользователем на приемной стороне в качестве слушающего и говорящего.

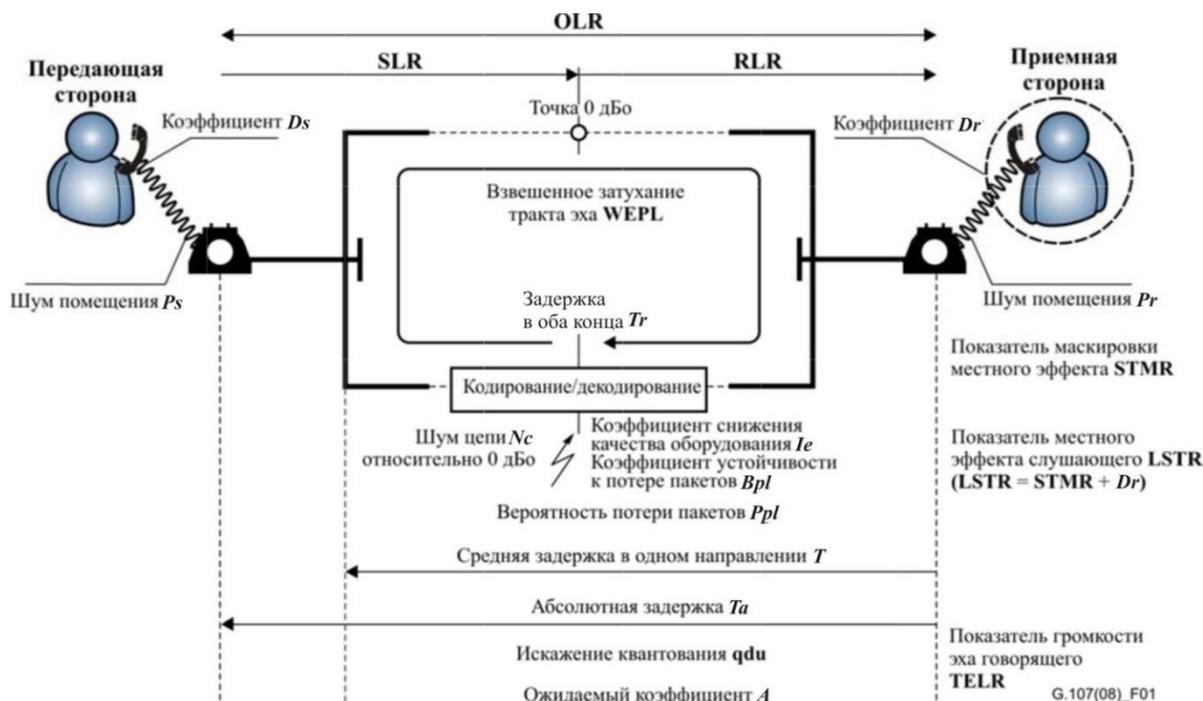


Рисунок 1 – Эталонное соединение E-модели

Параметры передачи, использованные на входе вычислительной модели, показаны на рисунке 1. Величины шума помещения и коэффициентов D в алгоритме вычисления обрабатывают отдельно для передающей и приемной сторон, и они могут иметь разные значения. Параметры показатель громкости передачи (SLR), показатель громкости приема (RLR) и шум цепи N_c сравнивают с определенной точкой 0 дБ. Все прочие входные параметры рассматривают либо как значения для общего соединения, например общий показатель громкости (OLR), то есть сумма SLR и RLR, число устройств с qdu , коэффициенты снижения качества оборудования I_e и коэффициент выигрыша A , либо как значения, относящиеся только к приемной стороне, например показатель маскировки местного эффекта (STMR), показатель местного эффекта слушающего (LSTR), взвешенная потеря эха в тракте передачи (WEPL), используемая для вычисления эха слушающего, и показатель громкости эха говорящего (TELR).

Существует три различных параметра, связанных со временем передачи. Абсолютная задержка Ta представляет общую задержку в одном направлении между передающей и приемной сторонами,

которую используют для оценки снижения качества из-за чрезмерной задержки. Значение параметра задержки в одном направлении T представляет задержку между приемной стороной (в состоянии разговора) и точкой соединения, в которой объединение сигналов создает источник эха. Задержка в оба конца Tr представляет только задержку в 4-проводной замкнутой цепи, в которой дважды отраженный сигнал вызывает снижение качества из-за эха слушающего.

7.1 Вычисление показателя оценки характеристики передачи R

Согласно методу вычисления коэффициента снижения качества оборудования фундаментальный принцип E-модели основан на концепции, которая приведена в описании модели OPINE (см. [b-ITU-T P-Sup.3]).

Психологические коэффициенты аддитивны в психологическом масштабе.

На первом этапе любого вычисления с E-моделью результатом является коэффициент оценки качества передачи R , который объединяет все параметры передачи, имеющие отношение к этому соединению. Этот коэффициент оценки качества R состоит из следующих составляющих:

$$R = Ro - Is - Id - Ie-eff + A. \quad (7-1)$$

В принципе Ro представляет основное соотношение сигнал/шум, включая такие источники шума, как шум цепи и шум помещения. Коэффициент Is представляет комбинацию из всех снижений качества, которые действуют на речевой сигнал более или менее одновременно. Коэффициент Id представляет снижение качества, вызываемое задержкой, а коэффициент снижения эффективности оборудования $Ie-eff$ представляет снижение качества, вызываемое кодеками с низкой битовой скоростью. Этот коэффициент также включает снижение качества из-за потери пакетов с произвольным распределением. Коэффициент выигрыша A позволяет компенсировать коэффициенты снижения качества в тех случаях, когда пользователь получает преимущества от других типов доступа к пользователю. Член Ro и величины Is и Id подразделяют на дальнейшие специфические значения снижения качества. В следующих разделах представлены уравнения, использованные в E-модели.

7.2 Основное отношение сигнал/шум Ro

Основное отношение сигнал/шум Ro определено как

$$Ro = 15 - 1,5(SLR + No) \quad (7-2)$$

Член No (в [дБм0п]) представляет сложение по мощности от различных источников шума:

$$No = 10 \log \left[10^{\frac{Nc}{10}} + 10^{\frac{Nos}{10}} + 10^{\frac{Nor}{10}} + 10^{\frac{Nfo}{10}} \right]. \quad (7-3)$$

Член Nc (в [дБм0п]) представляет сумму всех источников мощности шума цепи относительно точки 0 дБс.

Член Nos (в [дБм0п]) представляет эквивалентный шум цепи в точке 0 дБс, вызванный шумом помещения Ps на передающей стороне:

$$Nos = Ps - SLR - Ds - 100 + 0,004(Ps - OLR - Ds - 14)^2, \quad (7-4)$$

где $OLR = SLR + RLR$. Таким же образом шум помещения Pr на приемной стороне преобразуют в эквивалентный шум цепи Nor (в [дБм0п]) в точке 0 дБс:

$$Nor = RLR - 121 + Pre + 0,008(Pre - 35)^2. \quad (7-5)$$

Член Pre (в [дБм0п]) представляет эффективный шум помещения, вызванный увеличением Pr за счет цепи местного эффекта слушающего пользователя:

$$Pre = Pr + 10 \log \left[1 + 10^{\frac{(10-LSTR)}{10}} \right]. \quad (7-6)$$

Nfo (в [дБм0п]) представляет нижний уровень шума на приемной стороне:

$$Nfo = Nfor + RLR \quad (7-7)$$

с обычно принимаемым значением $Nfor$, равным -64 дБмп.

7.3 Коэффициент одновременного снижения качества Is

Коэффициент Is представляет сумму всех снижений качества, которые могут произойти более или менее одновременно при передаче речи. В дальнейшем коэффициент Is подразделяют на три специфических коэффициента снижения качества:

$$Is = Iolr + Ist + Iq. \quad (7-8)$$

Коэффициент $Iolr$ представляет вызванное слишком низкими значениями OLR снижение качества, которое определяют как

$$Iolr = 20 \left[\left\{ 1 + \left(\frac{Xolr}{8} \right)^8 \right\}^{\frac{1}{8}} - \frac{Xolr}{8} \right], \quad (7-9)$$

где:

$$Xolr = OLR + 0,2(64 + No - RLR). \quad (7-10)$$

Коэффициент Ist представляет снижение качества, вызванное неоптимальным местным эффектом:

$$Ist = 12 \left[1 + \left(\frac{STMRO - 13}{6} \right)^8 \right]^{\frac{1}{8}} - 28 \left[1 + \left(\frac{STMRO + 1}{19,4} \right)^{35} \right]^{\frac{1}{35}} - 13 \left[1 + \left(\frac{STMRO - 3}{33} \right)^{13} \right]^{\frac{1}{13}} + 29, \quad (7-11)$$

где:

$$STMRO = -10 \log \left[10^{\frac{STM}{10}} + e^{\frac{T}{4}} 10^{\frac{TEL}{10}} \right]. \quad (7-12)$$

Коэффициент снижения качества Iq представляет снижение качества, вызванное искажениями квантования:

$$Iq = 15 \log \left[1 + 10^Y + 10^Z \right], \quad (7-13)$$

где:

$$Y = \frac{Ro - 100}{15} + \frac{46}{8,4} - \frac{G}{9}; \quad (7-14)$$

$$Z = \frac{46}{30} - \frac{G}{40} \quad (7-15)$$

и

$$G = 1,07 + 0,258Q + 0,0602Q^2; \quad (7-16)$$

$$Q = 37 - 15 \log(qdu). \quad (7-17)$$

В этом уравнении qdu означает число устройств с qdu для всего соединения между передающей стороной и приемной стороной.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Если коэффициент снижения качества Ie используют для части оборудования, то величину qdu нельзя использовать для той же самой части оборудования.

7.4 Коэффициент снижения качества из-за задержки Id

Коэффициент снижения качества Id , представляющий все снижения качества из-за задержки речевых сигналов, также далее разделяют на три коэффициента – $Idte$, $Idle$ и Idd , где

$$Id = Idte + Idle + Idd. \quad (7-18)$$

Коэффициент $Idte$ дает оценку снижения качества из-за эха говорящего:

$$Idte = \left[\frac{Roe - Re}{2} + \sqrt{\frac{(Roe - Re)^2}{4} + 100} - 1 \right] (1 - e^{-T}), \quad (7-19)$$

где:

$$Roe = -1,5(No - RLR); \quad (7-20)$$

$$Re = 80 + 2,5(TErv - 14); \quad (7-21)$$

$$TErv = TELR - 40 \log \frac{1 + \frac{T}{10}}{1 + \frac{T}{150}} + 6e^{-0,3T^2} \quad (7-22)$$

Для значений $T < 1$ мс эхо говорящего следует рассматривать как местный эффект, то есть $Idte = 0$. Следовательно, вычислительный алгоритм объединяет влияние STMR на эхо говорящего. Принимая во внимание, что низкие значения STMR могут создавать для эха говорящего некоторые маскирующие эффекты, а для очень высоких значений STMR эхо говорящего может стать более заметным, члены $TErv$ и $Idte$ выбирают следующим образом.

Для $STMR < 9$ дБ

в уравнении (7-21) $TErv$ заменяют на $TErv_s$, где

$$TErv_s = TErv + \frac{Ist}{2}. \quad (7-23)$$

Для $9 \text{ дБ} \leq STMR \leq 20$ дБ

применяются вышеприведенные уравнения с (7-19) по (7-22).

Для $STMR > 20$ дБ

в уравнении (7-18) $Idte$ заменяют на $Idtes$, где

$$Idtes = \sqrt{Idte^2 + Ist^2}. \quad (7-24)$$

Коэффициент $Idle$ представляет снижение качества из-за эха слушающего. Для этого используют уравнение

$$Idle = \frac{Ro - Rle}{2} + \sqrt{\frac{(Ro - Rle)^2}{4} + 169}, \quad (7-25)$$

где:

$$Rle = 10,5(WEPL + 7)(Tr + 1)^{-0,25} \quad (7-26)$$

Коэффициент Idd представляет снижение качества, вызванное слишком длительной абсолютной задержкой Ta , которая происходит даже при очень хорошем подавлении эха. Только в том случае, если влияние, возникающее из-за чистой задержки, связано с услугой, это влияние в определенной степени отражается в соответствующей оценке пользователем качества речи. Следует отметить, что влияние, возникающее из-за чистой задержки, может на самом деле быть связано с другим собеседником либо с трудностями общения. Например, если собеседники не знакомы друг с другом или из-за задержки снижается эффективность общения. В текущей версии E-модели учитываются различные типы диалогов и пользователей с точки зрения их интерактивности и чувствительности

к задержкам. Следовательно, в прогнозах могут быть учтены требования по чувствительности к задержкам для группы пользователей.

Для $Ta \leq mT$

$$I_{dd} = 0.$$

Для $Ta > mT$

$$I_{dd} = 25 \left\{ \left(1 + X^{6 \cdot sT} \right)^{\frac{1}{6 \cdot sT}} - 3 \left(1 + \left[\frac{X}{3} \right]^{6 \cdot sT} \right)^{\frac{1}{6 \cdot sT}} + 2 \right\}, \quad (7-27)$$

где:

$$X = \frac{\log \left(\frac{Ta}{mT} \right)}{\log 2}. \quad (7-28)$$

Рекомендуется применять такие фиксированные параметры чувствительности к задержкам, как sT и минимальная воспринимаемая задержка mT , которые соответствуют различным сценариям использования и группам пользователей. Данные параметры затрагивают следующие аспекты:

- интерактивность разговора и чувствительность пользователей к воздействию задержек;
- сценарий использования – отдельно взятый вызов, совершаемый либо в рамках делового общения, либо в бытовой ситуации. Даже если пользователи не заметят задержку, она может иметь критические последствия для эффективности и результативности отдельно взятого вызова, например совершаемого в рамках делового общения.

Следовательно, в том случае, если не определена группа пользователей или сценарий использования, затрагиваемые при оказании планируемой услуги, рекомендуется использовать класс по умолчанию. Любой сценарий использования не по умолчанию должен быть явным образом указан при составлении отчетов о результатах.

Исходя из указанных соображений для sT и mT рекомендуются следующие параметры, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Классы чувствительности к задержкам для различных сценариев использования

| Класс чувствительности к задержкам | sT | mT (мс) | Сценарий использования |
|------------------------------------|------|-----------|--|
| По умолчанию | 1 | 100 | <ul style="list-style-type: none"> – Применимо ко всем типам телефонных разговоров – Следует использовать для: <ul style="list-style-type: none"> • системы фиксированной или подвижной телефонной связи операторского класса • системы фиксированной или подвижной телефонной связи корпоративного уровня • в случае, когда неизвестны целевая группа пользователей и требования по задержкам |
| Низкий | 0,55 | 120 | <ul style="list-style-type: none"> – Применимо только в тех случаях, когда известно, что пользователи обладают низкой чувствительностью к задержкам, например при некритичных по срокам сценариях разговора |

**Таблица 1 – Классы чувствительности к задержкам
для различных сценариев использования**

| Класс чувствительности к задержкам | sT | mT (мс) | Сценарий использования |
|------------------------------------|------|-----------|---|
| Очень низкий | 0,4 | 150 | – Применимо только в тех случаях, когда известно, что пользователи обладают очень низкой чувствительностью к задержкам, например при преимущественно неинтерактивных сценариях, в первую очередь таких, как прослушивание разговора или доклада |

7.5 Коэффициент снижения качества оборудования I_e

Значения коэффициента снижения качества оборудования I_e из-за использования элементов низкоскоростных кодеков не связаны с другими входными параметрами. Эти значения зависят от результатов тестирования по субъективной усредненной оценке (MOS), а также от опыта работы в сети. Текущие рекомендованные значения I_e приведены в Дополнении I к [ITU-T G.113].

Ранее, при произвольной² потере пакетов, конкретные значения коэффициента снижения качества кодека интерпретировали, пользуясь табулированными значениями I_e , зависящими от потери пакетов. Теперь в качестве специфического значения кодека определен коэффициент устойчивости к потере пакетов Bpl . Зависящий от потери пакетов коэффициент снижения эффективности оборудования I_{e-eff} находят, используя специфический для кодека коэффициент снижения качества оборудования при нулевой потере пакетов I_e и коэффициент устойчивости к потере пакетов Bpl . Для некоторых кодеков оба коэффициента приведены в Дополнении I к [ITU-T G.113]. При вероятности потери пакетов Ppl коэффициент I_{e-eff} вычисляют при помощи уравнения

$$I_{e-eff} = I_e + (95 - I_e) \cdot \frac{Ppl}{\frac{Ppl}{BurstR} + Bpl}. \quad (7-29)$$

$BurstR$ – это так называемый коэффициент всплеска, который определяют как

$$BurstR = \frac{\text{Средняя длина наблюдаемых выбросов в принимаемой последовательности}}{\text{Средняя длина выбросов, ожидаемых в сети с произвольной потерей пакетов}}.$$

Если потеря пакетов произвольная (то есть независимая), $BurstR = 1$; а

если потеря пакетов со всплеском (то есть зависимая), $BurstR > 1$.

Например, для потери пакетов с распределением, соответствующим модели Маркова (Markov) с двумя состояниями и с вероятностями p переходов от состояния "обнаружен" к состоянию "потерян" и с вероятностями q – от состояния "потерян" к состоянию "обнаружен", коэффициент всплеска может быть вычислен как

$$BurstR = \frac{1}{p+q} = \frac{Ppl/100}{p} = \frac{1-Ppl/100}{q}. \quad (7-30)$$

Как видно из уравнения (7-29), коэффициент снижения эффективности оборудования в случае $Ppl = 0$ (отсутствие потери пакетов) равен значению I_e , определенному в Дополнении I к [ITU-T G.113].

Информация о значениях параметров, для которых действителен этот алгоритм, приведена в Приложении А.

Значение I_{e-eff} должно быть получено на основе значений I_e и Bpl в том случае, если они приведены в [ITU-T G.113], а неравномерность потери пакетов может быть определена исходя из характеристик

² Вероятность потери пакета полагают не зависящей от состояния приема (принят или потерян) предыдущего пакета.

потери пакетов. Если по практическим соображениям сложно получить коэффициент потери пакетов (Ppl) и/или характеристики потери пакетов для вычисления параметра неравномерности ($BurstR$), то значение $Ie-eff$ может быть получено напрямую при помощи метода, приведенного в [ITU-T P.834].

Если значение Ie получено напрямую инструментальным методом, указанным в [ITU-T P.834], в нем уже отражено влияние потери пакетов, которая возникает в процессе подготовки исследуемых речевых материалов. В этом случае уравнение (7-29) использовать не следует. Вместо этого следует использовать значение Ie , полученное указанным в [ITU-T P.834] методом в $Ie-eff$ (уравнение (7-1)).

7.6 Коэффициент выигрыша A

Коэффициент выигрыша A имеет конкретное значение, а следовательно, никак не связан с другими параметрами передачи. Некоторые предварительные значения приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Примеры предварительных значений для коэффициента выигрыша A

| Пример системы связи | Максимальное значение A |
|---|---------------------------|
| Обычная (проводная) | 0 |
| Мобильная с помощью сотовой сети в здании | 5 |
| Мобильная в географической области или подвижная на транспортном средстве | 10 |
| Доступ к труднодоступному месту, например с помощью спутников со многими интервалами соединений | 20 |

Следует отметить, что значения в таблице 2 являются только предварительными. Использование коэффициента A и его подобранных значений в специальных приложениях оставлено на усмотрение проектировщика. Однако значения в таблице 2 следует рассматривать как абсолютный верхний предел для A . Дополнительная общая информация по коэффициенту выигрыша A содержится в Дополнении II к [ITU-T G.113].

7.7 Значения по умолчанию

Для всех входных параметров, использованных в Е-модели, значения по умолчанию приведены в таблице 3. Настоятельно рекомендуется использовать значения по умолчанию для всех параметров, которые не изменяются во время проектных расчетов. Если все параметры установлены на значения по умолчанию, результаты вычислений покажут очень высокое качество с коэффициентом рейтинга $R = 93,2$.

Таблица 3 – Значения по умолчанию и допустимые диапазоны значений параметров

| Параметр | Аббревиатура | Единицы | Значение по умолчанию | Допустимый диапазон | Замечание |
|---|--------------|---------|-----------------------|---------------------|--------------|
| Показатель громкости передачи | SLR | дБ | +8 | 0 ... +18 | (Прим. 1) |
| Показатель громкости приема | RLR | дБ | +2 | -5 ... +14 | (Прим. 1) |
| Показатель маскировки местного эффекта | STMR | дБ | 15 | 10 ... 20 | (Прим. 2, 4) |
| Показатель местного эффекта слушающего | LSTR | дБ | 18 | 13 ... 23 | (Прим. 2) |
| Значение D телефона на передающей стороне | D_s | – | 3 | -3 ... +3 | (Прим. 2) |
| Значение D телефона на приемной стороне | D_r | – | 3 | -3 ... +3 | (Прим. 2) |
| Показатель громкости эха говорящего | TELR | дБ | 65 | 5 ... 65 | |
| Взвешенная потеря эха в тракте передачи | WEPL | дБ | 110 | 5 ... 110 | |

Таблица 3 – Значения по умолчанию и допустимые диапазоны значений параметров

| Параметр | Аббревиатура | Единицы | Значение по умолчанию | Допустимый диапазон | Замечание |
|--|---------------|---------|-----------------------|---------------------|--------------|
| Средняя задержка канала эха в одном направлении | <i>T</i> | мс | 0 | 0 ... 500 | |
| Задержка в двух направлениях в 4-проводной замкнутой цепи | <i>Tr</i> | мс | 0 | 0 ... 1000 | |
| Абсолютная задержка в соединениях, свободных от эха | <i>Ta</i> | мс | 0 | 0 ... 500 | |
| Чувствительность к задержкам | <i>sT</i> | – | 1 | 0,4 ... 1 | (Прим. 7) |
| Минимальная воспринимаемая задержка | <i>mT</i> | мс | 100 | 20 ... 150 | (Прим. 7) |
| Число устройств с искажением квантования | qdu | – | 1 | 1 ... 14 | |
| Показатель снижения качества оборудования | <i>Ie</i> | – | 0 | 0 ... 40 | (Прим. 5) |
| Коэффициент устойчивости к потере пакетов | <i>Vpl</i> | – | 4,3 | 4,3 ... 40 | (Прим. 3, 5) |
| Вероятность случайной потери пакетов | <i>Ppl</i> | % | 0 | 0 ... 20 | (Прим. 3, 5) |
| Коэффициент всплеска | <i>BurstR</i> | – | 1 | 1 ... 8 | (Прим. 3, 6) |
| Шум цепи относительно точки 0 дБс | <i>Nc</i> | дБм0п | –70 | –80 ... –40 | |
| Пороговый шум на приемной стороне | <i>Nfor</i> | дБмп | –64 | – | (Прим. 3) |
| Шум помещения на передающей стороне | <i>Ps</i> | дБ(А) | 35 | 35 ... 85 | |
| Шум помещения на приемной стороне | <i>Pr</i> | дБ(А) | 35 | 35 ... 85 | |
| Коэффициент выигрыша | <i>A</i> | – | 0 | 0 ... 20 | |
| <p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Общие величины между микрофоном или приемником и точкой 0 дБс.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Постоянное отношение $LSTR = STMR + D$.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3. – В настоящее время изучается.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 4. – В уравнении (7-24) представлены также расчетные значения для $STMR > 20$ дБ. Однако едва ли существует надежный способ измерения подобных значений, поскольку измерения охватывают главным образом акустическое, а не электрическое соединение.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Если $Ppl > 0\%$, то Vpl должно соответствовать предполагаемому кодеку, размеру пакета и маскированию потери пакета (PLC).</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 6. – Расчетные значения E-модели для значений $BurstR > 2$ действительны только в том случае, если соотношение потерянных пакетов составляет $Ppl < 2\%$.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 7. – Параметры sT и mT могут принимать только предварительно заданные значения, соответствующие конкретным сценариям использования. См. основной текст Рекомендации.</p> | | | | | |

В версии этой Рекомендации 2000 года представлен улучшенный вариант алгоритма E-модели (см. Приложение А).

Благодаря изменениям, внесенным в версию этой Рекомендации 2000 года, результирующий показатель R при всех значениях параметров, принятых по умолчанию, несколько изменился (от $R = 94,2$ до $R = 93,2$). Однако для целей практического проектирования это небольшое различие следует считать незначительным.

Приложение А

Условия использования E-модели

(Данное Приложение является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

ПРИМЕЧАНИЕ. – Оценка и улучшение алгоритма E-модели подлежат дальнейшему изучению. Новые результаты будут включены, как только они станут доступными.

А.1 Примеры условий, при которых следует проявлять осторожность в использовании E-модели

- *Общий уровень коэффициентов снижения качества оборудования*

Некоторые экспериментальные исследования показывают, что общая тенденция для коэффициентов снижения качества оборудования излишне пессимистична, так что на самом деле может существовать некоторый невидимый запас.
- *Общее аддитивное свойство модели*

Предполагается, что в E-модели различные виды снижения качества аддитивны в масштабе коэффициента оценки качества передачи R . Это свойство пока не проверено до такой степени, чтобы сделать удовлетворительный вывод. В частности, мало исследовалось взаимодействие низкоскоростных кодеков с другими источниками снижения качества, например с шумом помещения. Кроме того, остается неопределенным порядок сложения эффектов при каскадном соединении низкоскоростных кодеков.
- *Действие местного эффекта говорящего*

Некоторые эксперименты показывают, что E-модель игнорирует некоторые маскирующие эффекты, которые случаются в местном эффекте говорящего, а именно связанные с шумом цепи, шумом помещения на приемной стороне и незначительной задержкой эха говорящего (< 10 мс).
- *Коэффициент выигрыша A*

До сих пор остается неясным, при каких условиях могут быть использованы заданные величины для коэффициента выигрыша. Предполагают, что эти величины могут зависеть, например, от группы пользователя и будут изменяться в течение длительного периода.
- *Методика получения коэффициентов снижения качества для нового оборудования*

Новая методика получения коэффициентов снижения качества оборудования, основанная на субъективной оценке качества при прослушивании, была одобрена как [ITU-T P.833]. Новая методика для вычисления коэффициентов снижения качества оборудования по инструментальной модели, такой как [ITU-T P.863], одобрена как [ITU-T P.834].
- *Прогнозы для разных типов шума помещения и различных форм амплитудно-частотных характеристик в канале связи, в трактах местного эффекта и эха*

E-модель учитывает эффект шума помещения только с помощью взвешенного уровня A . Действительное мнение о качестве речевой связи может зависеть даже от типа и возмущающего воздействия окружающего шума. Амплитудно-частотные характеристики канала связи, трактов местного эффекта и эха не воспринимаются в явной форме E-моделью, а только косвенно с помощью показателей громкости. Однако они могут влиять на воспринимаемое качество передачи.

A.2 Условия, при которых характеристики E-модели улучшаются путем обновления ее прежней версии

– Эффект шума помещения на передающей стороне

В улучшенном алгоритме E-модели (версия 2000 года) эффект Ломбарда (явление, при котором говорящий адаптирует свое произношение и уровень речи к окружающему шуму) более не игнорируется. Это имело место в версии 1998 года и приводило к излишне пессимистичным прогнозам E-модели для высоких уровней шума помещения P_r .

– Прогнозы искажений квантования

В E-модели версии 1998 года результаты субъективных тестов для эталонного блока модулированного шума (MNRU) очень часто оказывались более пессимистичными, чем прогнозы по E-модели версии 2000 года. Графики на рисунке A.1 построены по версии 1998 года и версии E-модели 2000 года, причем все параметры имеют значения по умолчанию.

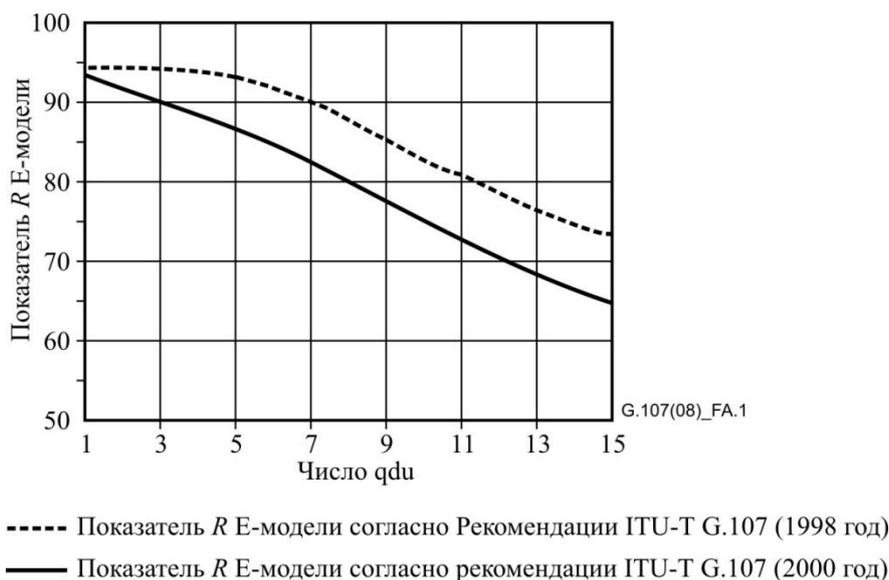


Рисунок A.1 – Зависимость между числом устройств с q_{du} и показателем R E-модели

Что касается несколько улучшенного алгоритма E-модели, приведенного в данной Рекомендации, то зависимость между параметром q_{du} и показателем R E-модели была изменена таким образом, чтобы лучше подогнать алгоритм под результаты субъективных тестов.

– Прогнозы характеристик кодека при случайной потере пакетов

Первоначально в условиях потерь пакетов снижение качества из-за кодеков оценивали с использованием табулированных, зависящих от кодека коэффициентов снижения качества оборудования для различных коэффициентов потерь пакетов (в предыдущих версиях Дополнения I к [ITU-T G.113]). В целях снижения объема табулированных данных при использовании E-модели были исследованы возможности замены табулированных значений I_{es} при потерях пакетов соответствующими уравнениями. Выбранный подход привел к результатам, близким к тем, которые ранее были определены как значения I_e для всех кодеков, описанных в Дополнении I к [ITU-T G.113] версии 2001 года.

– *Прогнозы характеристик кодека при зависимой потере пакетов*

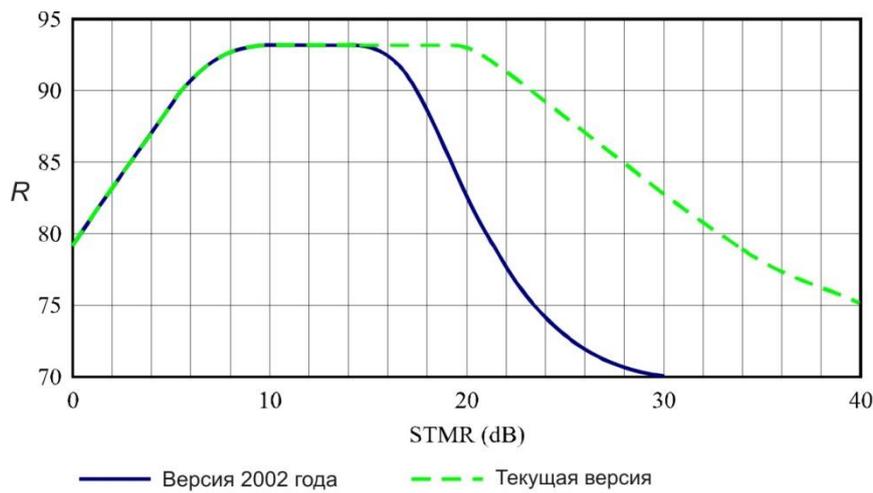
Эта версия алгоритма, учитывающая распределение потерь пакетов, которое характеризуется средними (кратковременными) зависимостями (в противоположность долговременным зависимостям потерь), была включена в Е-модель. До сих пор такой подход к оценке применяли только к кодеку ITU-T G.729(A), но, по-видимому, он применим также к кодеку МСЭ-Т G.723.1 и, предположительно, к другим кодекам. В ожидании дальнейших подтверждений этот алгоритм не следует использовать с коэффициентами всплесков выше, чем $BurstR = 2,0$. Применять эту модель к коэффициентам всплесков более 2,0 все же можно, если процент потерь пакетов Ppl менее 2%.

– *Влияние местного эффекта говорящего*

Оценки качества речи как функции от STMR для значений > 15 дБ, предложенные в предыдущей версии настоящей Рекомендации, были слишком пессимистичными и неточно соответствовали результатам, полученным при слуховых тестах. Это оказалось особенно важным для телефонов в Северной Америке, спецификации которой обычно предписывают номинальные значения STMR от 16 до 18 дБ.

В текущей исправленной версии алгоритма Е-модели это замечание отражено модификацией соответствующего уравнения для Ist как функции от местного эффекта (STMR), см. уравнение (7-11).

Как упоминалось в основном тексте данной Рекомендации, эхо говорящего может сделаться более заметным для малозумных значений STMR. Это отражено в уравнении (7-24) заменой $Idte$ на $Idtes$. Чтобы сохранить последовательность, порог эха говорящего был смещен от $STMR > 15$ дБ (версия настоящей Рекомендации от 2002 года) до $STMR > 20$ дБ (текущая версия настоящей Рекомендации). Эти модификации не повлияли на значения $STMR < 15$ дБ. Следовательно, прогноз качества для коэффициента оценки качества передачи R при установках по умолчанию ($STMR = 15$ дБ) не отличается от прогноза по модели предыдущей версии (2002 год). Величина R по умолчанию равна 93,2 для обеих версий – предыдущей и текущей. Такая ситуация изображена на рисунке А.2.



G.107(08)_FA.2

Рисунок А.2 – Сравнение зависимости R от STMR для текущей и предыдущей версий алгоритма Е-модели

– *Влияние чистой задержки*

Результаты нескольких диалоговых тестов выявили, что даже длительные задержки могут не влиять на воспринимаемое качество речи, то есть если речь идет о связи эффекта задержки с системой. В таких случаях прогнозы, приведенные в предыдущих версиях E-модели, могут быть более пессимистичными, чем фактическое мнение пользователей. Таким образом в определенных случаях можно рассчитывать на прогнозы качества речи, которые в большей степени отвечают некоторым менее строгим требованиям к задержкам.

Как следствие, в текущей пересмотренной версии E-модели представлены чувствительность к задержкам sT и минимальная воспринимаемая задержка mT . Если эти параметры подобраны верно, то их можно применять как для вызовов по умолчанию, так и для вызовов, менее чувствительных к задержкам. Эти параметры рекомендуется использовать с осторожностью, в соответствии с ожидаемым классом задержки (см. таблицу 1).

Приложение В

Показатели качества, найденные по коэффициенту оценки качества передачи R

(Данное Приложение является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Диапазон коэффициентов оценки качества передачи R может располагаться от 0 до 100, где $R = 0$ представляет крайне низкое качество, а $R = 100$ – очень высокое качество. Е-модель обеспечивает статистическую оценку показателей качества. Проценты для суждения "хорошо или лучше" (GoB) или "плохо или хуже" (PoW) получают из коэффициента R с помощью функции ошибок Гаусса:

$$E(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (\text{B-1})$$

Используют следующие равенства:

$$\text{GoB} = 100E\left(\frac{R-60}{16}\right)\%; \quad (\text{B-2})$$

$$\text{PoW} = 100E\left(\frac{45-R}{16}\right)\%. \quad (\text{B-3})$$

Оценочное значение усредненного мнения (MOS_{CQE}) в диапазоне от 1 до 5 для обычной ситуации разговора можно найти по коэффициенту R , используя следующие уравнения:

$$\text{для } R < 0 \quad \text{MOS}_{\text{CQE}} = 1;$$

$$\text{для } 0 < R < 100 \quad \text{MOS}_{\text{CQE}} = 1 + 0,035R + R(R-60)(100-R)7 \cdot 10^{-6}; \quad (\text{B-4})$$

$$\text{для } R > 100 \quad \text{MOS}_{\text{CQE}} = 4,5.$$

Это уравнение можно инвертировать в диапазоне $6,5 \leq R \leq 100$ для вычисления R из MOS_{CQE} (см. Дополнение I). Значения GoB, PoW и MOS_{CQE} как функции от R изображены на рисунках В.1 и В.2 соответственно.

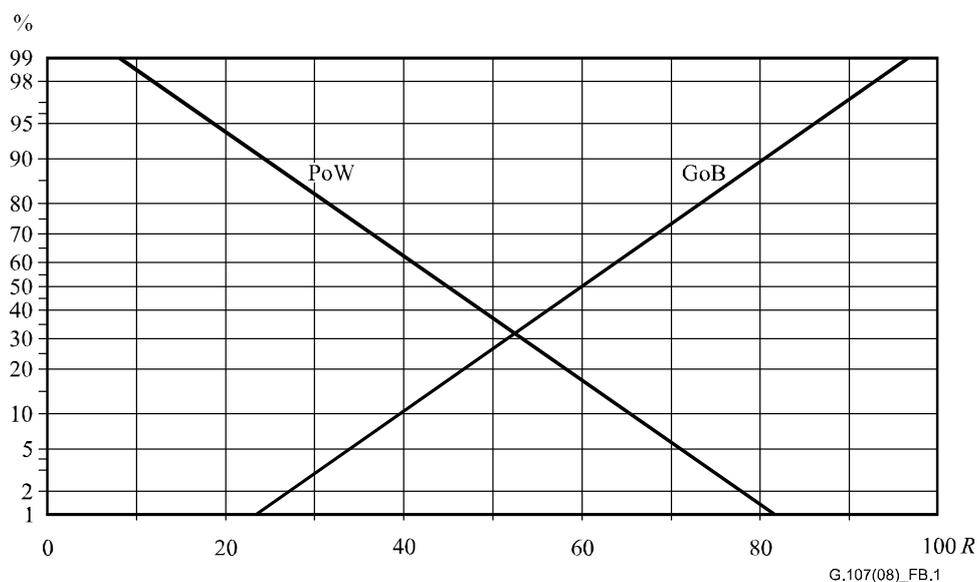


Рисунок В.1 – Значения GoB (хорошо или лучше) и PoW (плохо или хуже) как функции от коэффициента оценки качества R

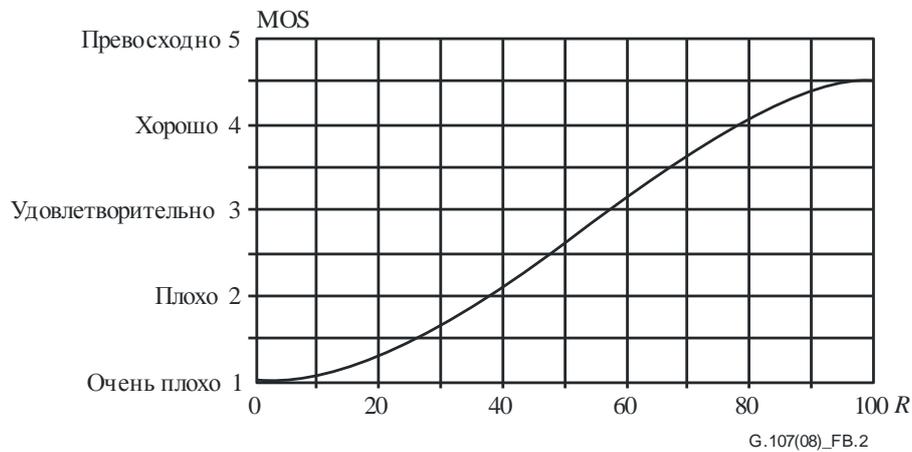


Рисунок В.2 – Значения MOS_{SQE} как функции от коэффициента оценки качества R

В некоторых случаях проектировщики передачи могут быть не знакомы с использованием показателей качества, например коэффициента R , которые можно получить при проектных расчетах. Поэтому для целей проектирования в качестве предварительного руководства для интерпретации вычисленных коэффициентов R можно использовать таблицу В.1³. В этой таблице также содержатся эквивалентные величины R , преобразованные в оценки качества разговора MOS_{SQE} , GoB и PoW.

Таблица В.1 – Предварительное руководство для связи величин R с удовлетворенностью пользователя

| Величина R (нижний предел) | MOS_{SQE} (нижний предел) | GoB (%) (нижний предел) | PoW (%) (верхний предел) | Удовлетворенность пользователя |
|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---|
| 90 | 4,34 | 97 | ~ 0 | Очень удовлетворен |
| 80 | 4,03 | 89 | ~ 0 | Удовлетворен |
| 70 | 3,60 | 73 | 6 | Некоторые пользователи не удовлетворены |
| 60 | 3,10 | 50 | 17 | Многие пользователи не удовлетворены |
| 50 | 2,58 | 27 | 38 | Почти все пользователи не удовлетворены |

³ Источником таблицы В.1 служит таблица 1 Рекомендации ITU-T G.109.

Дополнение I

Вычисление R по значениям MOS_{CQE}

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

В диапазоне $6,5 \leq R \leq 100$ величину R можно вычислить из MOS_{CQE} , используя формулу

$$R = \frac{20}{3} \left(8 - \sqrt{226} \cos \left(h + \frac{\pi}{3} \right) \right), \quad (I-1)$$

где:

$$h = \frac{1}{3} \arctan2 \left(18\,566 - 6750MOS_{CQE}, 15\sqrt{-903\,522 + 1\,113\,960MOS_{CQE} - 202\,500MOS_{CQE}^2} \right) \quad (I-2)$$

и

$$\arctan2(x, y) = \begin{cases} \arctan\left(\frac{y}{x}\right) & \text{для } x \geq 0; \\ \pi - \arctan\left(\frac{y}{-x}\right) & \text{для } x < 0. \end{cases} \quad (I-3)$$

Функцию $\arctan2(x, y)$ используют в ANSI C как функцию $\text{atan2}(y, x)$. Пользователи должны заметить, что в данном случае порядок этих двух параметров отличается.

Дополнение II

Предварительная концепция коэффициента искажений для широкополосной передачи речи

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Содержание данного Дополнения было перенесено в [ITU-T G.107.1].

Дополнение III

Эталонная реализация E-модели в Рекомендации МСЭ-T G.107

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Эталонная реализация E-модели более не приводится в виде привычной распечатки программы на языке Qbasic, как это было сделано в предыдущих версиях настоящей Рекомендации, поскольку эта форма признана устаревшей. В связи с этим сектор МСЭ-T представил новую реализацию E-модели на языке подготовки сценариев PHP4.

В соответствующем электронном приложении (доступном бесплатно на сайте публикаций МСЭ по адресу <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.107-201112-S/en>) в папке Software содержатся следующие файлы:

- общие указания: readme.txt;
- скрипт PHP4: calc.php;
- три обязательных Java-скрипта:
 - wz_tooltip.js;
 - tip_centerwindow.js;
 - tip_followscroll.js;
- сведения об авторских правах.

Для запуска данного программного обеспечения на любом сервере, не имеющем отношения к МСЭ, необходимо получить лицензию у организации, указанной в сведениях об авторских правах.

При этом тот же самый скрипт PHP4 выложен на сайте МСЭ. Это программное обеспечение может быть использовано с данного сервера любым лицом под свою ответственность и на свой страх и риск без ограничений, без каких-либо определенных условий, без обязательств по выплате гонораров и т. д. Для использования данного программного обеспечения лицензия не требуется. Данный скрипт доступен по адресу <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com12/emodelv1/>.

Дополнение IV

Применение E-модели совместно с системами шумоподавления и эхоподавителями в сети или на оконечных устройствах

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Устройства для подавления эха и шумоподавления часто входят в состав современных сетей и оконечного оборудования. Ожидается, что эхоподаватели позволят добиться значительного снижения эха. При этом остаточные эхо-сигналы могут рассматриваться таким же образом, как и в стандартной E-модели, то есть посредством параметров показатель громкости остаточного эха говорящего TELR и средняя задержка канала остаточного эха в одном направлении T . Однако ослабление эха может также изменяться в течение времени (так называемая пульсация эха), и процесс подавления может привести к искажениям передаваемого речевого сигнала. Причиной возникновения искажений передаваемого речевого сигнала может также служить некачественное шумоподавление, например в том случае, если участки речевого спектра вычитаются по алгоритму шумоподавления. Подобные искажения, возникающие вследствие некачественного шумоподавления, не отражены в текущей версии E-модели.

Для более тщательной оценки этих воздействий предлагается следующая приблизительная процедура, которая может применяться к заданному сценарию (то есть шумоподавление, подавление эха или и то и другое), см. также [b-Möller].

- 1) Остаточный шум, появляющийся вследствие некачественного подавления фонового шума, может возникать как во время речевых интервалов, так и во время пауз; параметры, описывающие обе ситуации, определены в [b-ITU-T G.160], а именно SNRI (повышение отношения сигнал-шум во время речи, (дБ)) и TNLR (снижение уровня суммарного шума, (дБ)). Для речевых интервалов и пауз предлагается использовать соотношение пятьдесят на пятьдесят (что примерно соответствует речевой активности 50%). При этом уравнение (7-4) изменяется следующим образом:

$$N_{os} = P_s - SLR - D_s - 0,5(SNRI + TNLR) - 100 + 0,004(P_s - OLR - D_s - 14)^2. \quad (IV-1)$$

Эта поправка вносится в целях учета влияния остаточного шума механизма шумоподавления.

В случае если предполагается наличие небелого фонового шума, множитель D_s в уравнении (IV-1) может зависеть от типа шума, используемого при его измерении; см. Справочник по телефонетрии МСЭ-Т [b-ITU-T H.160]. В этом случае предлагается использовать шум того же типа, который предполагается в качестве фонового.

- 2) Эффект искажения речи, возникающий вследствие некачественного шумоподавления, может быть зафиксирован путем расчета с использованием дополнительного показателя ухудшения качества оборудования I_e, nr , отражающего влияние систем шумоподавления. Желательно, чтобы дополнительный показатель ухудшения качества оборудования был получен путем проведения акустических тестов, основанных на прослушивании, в соответствии с [b-ITU-T P.835]. Как вариант, показатели S-MOS могут быть рассчитаны по объективной модели [b-ETSI EG 202]. При условии, что такие показатели S-MOS доступны для 1) соединения с пониженным уровнем шума; и 2) для бесшумного соединения без применения системы шумоподавления, I_e, nr можно рассчитать как

$$I_e, nr = \min(R(S-MOS2) - R(S-MOS1), 0). \quad (IV-2)$$

В этом уравнении преобразование из S-MOS в R выполняется с использованием соотношения между MOS и R , заданного в E-модели. Полученные показатели I_e, nr предпочтительно нормализовать в соответствии с процедурой, приведенной в [ITU-T P.834].

- 3) Эффекты остаточного эха учитываются стандартным способом E-модели, то есть с использованием коэффициента ослабления эха говорящего $Idte$; на этом этапе для расчета TELR необходимо применять частотно-зависимое ослабление канала остаточного эха.

- 4) Эффекты искажения речи вследствие некачественного подавления эха могут быть рассчитаны с использованием дополнительного показателя ухудшения качества оборудования $I_{e,ec}$, который вычисляется при помощи процедуры, приведенной в [ITU-T P.834] с применением инструментальной модели, приведенной в [ITU-T P.863]. Вычисление производится так же, как и на этапе 2. Аналогичным образом необработанный показатель $I_{e,ec}$ желательно нормализовать с использованием процедуры, приведенной в [ITU-T P.834].

Следует отметить, что модель из [ITU-T P.863] не предназначена для использования с эхо-сигналом говорящего в качестве критерия испытания, поэтому его применение для получения показателей ухудшения качества эхоподавителей должно осуществляться с осторожностью.

- 5) Оба показателя – $I_{e,nr}$ и $I_{e,ec}$ – прибавляются к эффективному показателю ухудшения качества оборудования I_{e-eff} перед расчетом общего показателя оценки качества передачи R .
- 6) Влияние задержки фиксируется обычным путем при помощи I_{dd} .

Предлагаемая методика является лишь предварительной, поскольку еще не была проведена ее тщательная проверка. Однако предполагается, что результатом ее применения станут более точные показатели, нежели полученные без учета упомянутых воздействий устройств шумоподавления и эхоподавителей. Следующие воздействия еще не охвачены методикой и, таким образом, подлежат дальнейшему изучению в МСЭ-Т:

- влияние изменяющихся во времени эхо-каналов;
- эффекты передачи переменного фоновых шума, обусловленные эхоподавителем;
- снижение возможности одновременного разговора, обусловленное эхоподавителем;
- искажения, обусловленные акустическими характеристиками оконечного оборудования, к которым могут быть подключены системы шумоподавления и эхоподаватели.

Библиография

- [b-ITU-T G.160] Recommendation ITU-T G.160 (2012), *Voice enhancement devices*
- [b-ITU-T G.711] Recommendation ITU-T G.711 (1988), *Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies.*
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.711>>
- [b-ITU-T G.712] Recommendation ITU-T G.712 (2001), *Transmission performance characteristics of pulse code modulation channels.*
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.712>>
- [b-ITU-T G.722] Recommendation ITU-T G.722 (2012), *7 kHz audio-coding within 64 kbit/s.*
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.722>>
- [b-ITU-T G.723.1] Рекомендация МСЭ-Т G.723.1 (2006 г.), *Двухскоростной речевой кодер для мультимедийной связи с передачей на скорости 5,3 или 6,3 кбит/с.*
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.723.1>>
- [b-ITU-T G.729] Recommendation ITU-T G.729 (2012), *Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear prediction (CS-ACELP).*
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.729>>
- [b-ITU-T P.10] Рекомендация МСЭ-Т P.10/G.100 (2006 г.), *Словарь по рабочим характеристикам и качеству обслуживания.*
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-P.10/G.100>>
- [b-ITU-T P.48] Recommendation ITU-T P.48 (1988), *Specification for an intermediate reference system.*
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-P.48>>
- [b-ITU-T P.800] Recommendation ITU-T P.800 (1996), *Methods for subjective determination of transmission quality.*
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-P.800>>
- [b-ITU-T P.835] Recommendation ITU-T P.835 (2003), *Subjective test methodology for evaluating speech communication systems that include noise suppression algorithm.*
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-P.835>>
- [b-ITU-T P-Sup.3] ITU-T P-series Recommendations – Supplement 3 (1993), *Models for predicting transmission quality from objective measurements.*
<<http://www.itu.int/rec/T-REC-P.Sup3>>
- [b-ETSI EG 202] ETSI EG 202 396-3 (2007), *Speech Quality Performance in the Presence of Background Noise – Part 3: Background Noise Transmission – Objective Test Methods*, European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis.
<http://www.etsi.org/deliver/etsi_eg/202300_202399/20239603/01.03.01_60/eg_20239603v010301p.pdf>
- [b-Möller] Möller, S., Kettler, F., Gierlich, H.-W., Poschen, S., Côté, N., Raake, A., Wältermann, M. (2011), *Extending the E-Model For Capturing Noise Reduction and Echo Canceller Impairments*, Journal of the Audio Engineering Society

СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

| | |
|----------------|---|
| Серия А | Организация работы МСЭ-Т |
| Серия D | Принципы тарификации и учета и экономические и стратегические вопросы международной электросвязи/ИКТ |
| Серия E | Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы |
| Серия F | Нетелефонные службы электросвязи |
| Серия G | Системы и среда передачи, цифровые системы и сети |
| Серия H | Аудиовизуальные и мультимедийные системы |
| Серия I | Цифровая сеть с интеграцией служб |
| Серия J | Кабельные сети и передача сигналов телевизионных и звуковых программ и других мультимедийных сигналов |
| Серия K | Защита от помех |
| Серия L | Окружающая среда и ИКТ, изменение климата, электронные отходы, энергоэффективность; конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений |
| Серия M | Управление электросвязью, включая СУЭ и техническое обслуживание сетей |
| Серия N | Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ |
| Серия O | Требования к измерительной аппаратуре |
| Серия P | Качество телефонной передачи, телефонные установки, сети местных линий |
| Серия Q | Коммутация и сигнализация, а также соответствующие измерения и испытания |
| Серия R | Телеграфная передача |
| Серия S | Оконечное оборудование для телеграфных служб |
| Серия T | Оконечное оборудование для телематических служб |
| Серия U | Телеграфная коммутация |
| Серия V | Передача данных по телефонной сети |
| Серия X | Сети передачи данных, взаимосвязь открытых систем и безопасность |
| Серия Y | Глобальная информационная инфраструктура, аспекты межсетевого протокола, сети последующих поколений, интернет вещей и "умные" города |
| Серия Z | Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи |