

# МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ  
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

# G.8263/Y.1363

**Поправка 2**  
(05/2014)

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

Аспекты передачи пакетов по транспортным сетям –  
Целевые показатели синхронизации, качества и  
готовности

СЕРИЯ Y: ГЛОБАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ  
ИНФРАСТРУКТУРА, АСПЕКТЫ ПРОТОКОЛА  
ИНТЕРНЕТ И СЕТИ ПОСЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ

Аспекты протокола Интернет – Транспортирование

---

Характеристики хронирования тактовых  
генераторов оборудования на основе пакетной  
передачи

**Поправка 2**

Рекомендация МСЭ-Т G.8263/Y.1363 (2012) –  
Поправка 2

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

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТЕЛЕФОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ЦЕПИ	G.100–G.199
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОБЩИЕ ДЛЯ ВСЕХ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ	G.200–G.299
ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ ВЧ-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 – ОБЩИЕ И СВЯЗАННЫЕ С ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ АСПЕКТЫ	G.1000–G.1999
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ И ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	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
Ethernet и аспекты транспортирования сообщений	G.8000–G.8099
MPLS и аспекты транспортирования сообщений	G.8100–G.8199
<b>Целевые показатели синхронизации, качества и готовности</b>	<b>G.8200–G.8299</b>
Управление услугами	G.8600–G.8699
СЕТИ ДОСТУПА	G.9000–G.9999

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

## Рекомендация МСЭ-Т G.8263/Y.1363

### Характеристики хронирования тактовых генераторов оборудования на основе пакетной передачи

#### Поправка 2

#### Резюме

В Поправке 2 к Рекомендации МСЭ-Т G.8263/Y.1363 (2012 г.) добавляется текст в Дополнение I "Допуск на шум, обусловленный вариацией задержки пакетов – методика тестирования", который ранее был отмечен как "для дальнейшего исследования". В ней также заменяется предложение в пункте 7.1 и добавляется примечание в пункте 7.1.

#### Хронологическая справка

Издание	Рекомендация	Утверждение	Исследовательская комиссия	Уникальный идентификатор*
1.0	МСЭ-Т G.8263/Y.1363	13.02.2012 г.	15-я	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/11524">11.1002/1000/11524</a>
1.1	МСЭ-Т G.8263/Y.1363 (2012), Попр.1	29.08.2013 г.	15-я	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/12014">11.1002/1000/12014</a>
1.2	МСЭ-Т G.8263/Y.1363 (2012), Попр.2	14.05.2014 г.	15-я	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/12191">11.1002/1000/12191</a>

\* 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 2016

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.

## Характеристики хронирования тактовых генераторов оборудования на основе пакетной передачи

### Поправка 2

#### 1) Пункт 7.1, PEC-S-F

*Заменить приведенный ниже текст:*

PEC-S-F обязан выдерживать шум с предельными уровнями, указанными в пункте 8 [ITU-T G.8261.1] (Сетевые пределы PDV в точке C).

*текстом:*

PEC-S-F обязан выдерживать шум с предельными уровнями, указанными в пункте 8.1.1 [ITU-T G.8261.1] (Сетевые пределы PDV в точке C).

*Добавить после Примечания 3 дополнительное новое примечание – Примечание 4.*

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Как указано в пункте 8.1.2 [ITU-T G.8261.1], во многих сетях может наблюдаться меньшая вариация задержки пакетов по сравнению с сетевым пределом для HRM-1, определенным в пункте 8.1.1 [ITU-T G.8261.1]. В настоящей Рекомендации определяется один тип пакетного ведомого тактового генератора, подходящего для использования в HRM-1, как описано в пункте 8.1.1 [ITU-T G.8261.1]. Некоторые операторы могут принять решение об использовании другого типа пакетного ведомого тактового генератора, в случае если их сетевые пределы соответствуют пункту 8.1.2 [ITU-T G.8261.1]; данный альтернативный тип пакетного ведомого тактового генератора подлежит дальнейшему изучению.

#### 2) Дополнение I

*Заменить весь текст Дополнения I приведенным ниже текстом.*

### Дополнение I

#### Допуск на шум, обусловленный вариацией задержки пакетов – методика тестирования

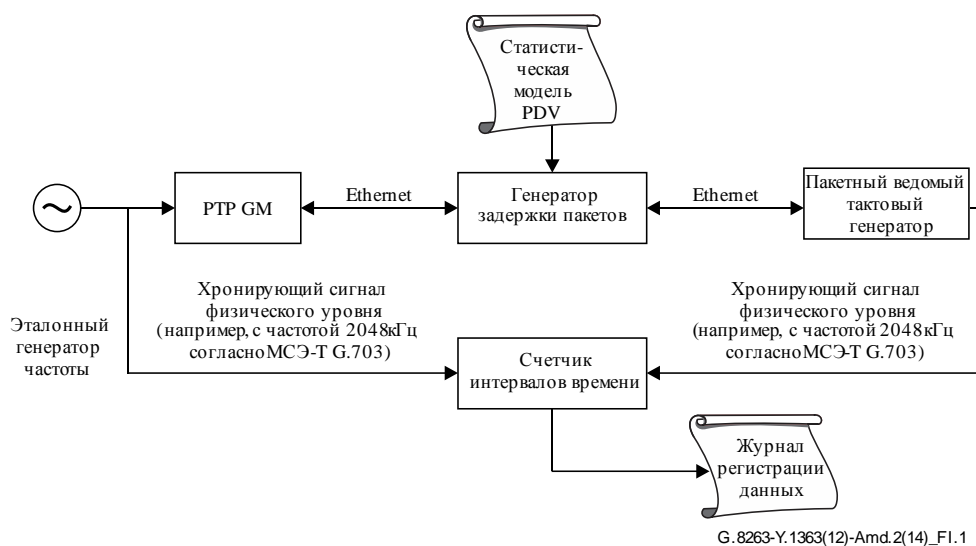
(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

В настоящее время подходящие тестовые сигналы для проверки соответствия маскам, указанным в [ITU-T G.8261.1] (случай 3 [ITU-T G.8261.1], который определен в эталонной точке D на рисунке 3 [ITU-T G.8261.1]), находятся на этапе исследования. Тем не менее для формирования подходящих тестовых комбинаций, моделирующих вариацию задержки пакетов (PDV), могут использоваться методики тестирования, описанные ниже в пункте I.2. В связи с этим надлежит применять маску, которая показана в таблице 1 и на рисунке 4 [ITU-T G.8261.1]; другие маски неприемлемы.

Данные методики применимы только к HRM-1, приведенной в [ITU-T G.8261.1]. Методики, подходящие для HRM-2, подлежат дальнейшему изучению. Что касается HRM-1, возможны и другие методики формирования подходящих тестовых сигналов для проверки соответствия маскам, указанным в [ITU-T G.8261.1]; они подлежат дальнейшему изучению.

#### I.1 Схема тестирования допуска на шум, обусловленный PDV

Общая схема тестирования допуска на шум, обусловленный PDV, показана на рисунке I.1.



**Рисунок I.1 – Схема тестирования допуска на шум, обусловленный PDV**

Хронирование всего эксперимента осуществляется с помощью эталонного генератора частоты, например цезиевого первичного эталонного генератора (PRC). Данный генератор формирует входной опорный сигнал для главного ведущего генератора (GM) PTP. Синхронизирующие сообщения, формируемые GM PTP, задерживаются генератором задержки пакетов, и соответствующие сообщения с запросом информации о задержке, формируемые пакетным ведомым тактовым генератором, также задерживаются с помощью того же самого генератора задержки пакетов.

Последовательности с задержкой формируются с помощью статистической модели, при этом ее параметры выбираются таким образом, чтобы получить распределение задержки, свойства которого аналогичны критерию сетевых пределов, определенному в [ITU-T G.8261.1] (то есть для HRM-1: 1% пакетов, подвергающихся задержке в пределах 150 мкс относительно минимальной задержки в каждом интервале наблюдения длительностью 200 с). Возможно использование несколько методик формирования подходящих тестовых комбинаций PDV. Некоторые из них приведены ниже для сведения в пункте I.2.

Как правило, рекомендуется, чтобы применительно к синхронизирующим сообщениям и сообщениям с запросом информации о задержке обе последовательности с задержкой были близкими по свойствам, будучи сформированными с использованием одной и той же статистической модели, но не одинаковыми. Это позволяет избежать эффектов корреляции, когда в последовательностях используются почти одинаковые значения в одно и то же время.

Пакетный ведомый тактовый генератор формирует выходной хронизирующий сигнал физического уровня (например, сигнал с частотой 2048 кГц согласно МСЭ-Т G.703), который сравнивается с хронизирующим сигналом эталонного генератора частоты с помощью счетчика интервалов времени. Далее, журнал регистрации данных можно сравнить с маской выходного сигнала, определенной на рисунке 4 в [ITU-T G.8261.1], чтобы проверить соответствие ведомого генератора этой маске.

Процедура тестирования должна выполняться при постоянных температурных условиях (в пределах  $\pm 1$  К): тестирование с возрастающей нагрузкой в условиях повышенного теплового шума подлежит дальнейшему изучению.

При измерении допуска на PDV тестовую комбинацию PDV следует начать подавать до установления связи между пакетным ведущим тактовым генератором и пакетным ведомым тактовым генератором. Такой порядок действий обеспечит воздействие тестовой комбинации PDV на все пакеты "события".

**ПРИМЕЧАНИЕ 1.** – При подаче тестовых комбинаций PDV на пакетный ведомый тактовый генератор требуется обеспечить период стабилизации, прежде чем проверять, что выходной сигнал, создаваемый этим генератором, находится в допустимых пределах. Продолжительность данного периода стабилизации подлежит дальнейшему изучению.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Как правило, при тестировании допуска на PDV пакетный ведомый тактовый генератор не должен иметь предварительной информации о пакетных ведущих генераторах, полученной из предыдущих измерений. В реальной схеме тестирования могут быть приняты меры для обеспечения того, чтобы пакетный ведомый тактовый генератор не имел такой предварительной информации. Например, может потребоваться произвести перезапуск или даже выключение и включение питания пакетного ведомого тактового генератора между измерениями. Однако, следует отметить, что в случае выключения и включения питания требуемый период стабилизации, вероятно, увеличится.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – При проведении тестов PDV следует соблюдать рекомендуемое время прогрева оборудования.

## I.2 Методики тестирования

В этом пункте приводится описание трех методов формирования подходящих тестовых комбинаций PDV для проверки соответствия приведенным в [ITU-T G.8261.1] маскам, которые устанавливают сетевые пределы PDV для HRM-1:

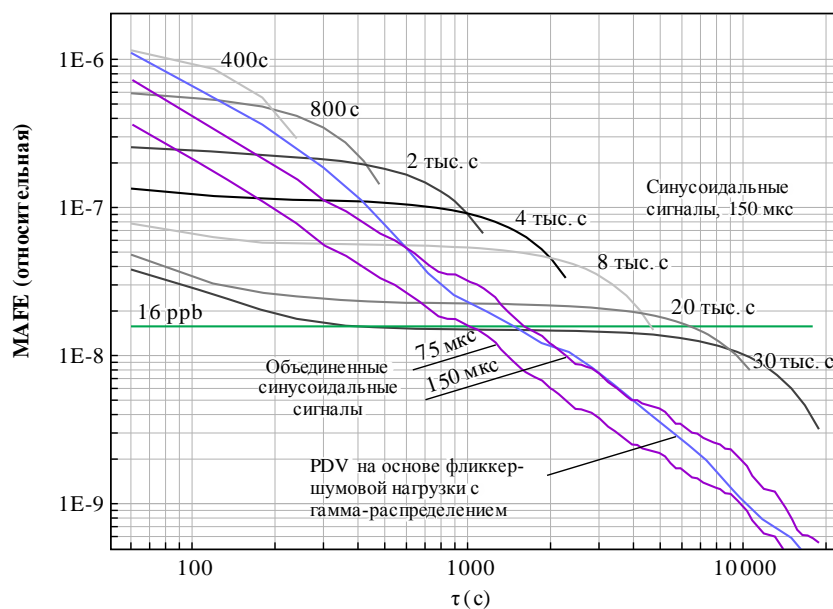
- тестовые комбинации PDV на основе фликкер-шума;
- тестовые комбинации PDV на основе объединенных синусоидальных сигналов;
- тестовые комбинации PDV на основе одиночного синусоидального сигнала.

В каждом подпункте приводятся данные относительно целесообразности использования каждого метода. В приведенной ниже таблице I.1 обобщены достоинства и недостатки каждого метода.

**Таблица I.1 – Сравнение методов тестирования допуска на шум, обусловленный PDV**

Метод	Достоинства	Недостатки
Фликкер-шум	Простой тест ограниченной длительности Имитирует некоторые типовые характеристики пакетных сетей	Не учитывает сложные/экстремальные сетевые сценарии, например изменение наименьшей задержки
Объединенные синусоидальные сигналы	Простой тест ограниченной длительности Имитирует некоторые типовые характеристики пакетных сетей Включает изменение наименьшей задержки, имитирует умеренные вариации нагрузки	Не учитывает экстремальные сетевые сценарии, например увеличение наименьшей задержки, соответствующей низкому уровню шума, до максимальной величины, определяемой сетевым пределом, за период времени, соответствующий худшему случаю
Одиночный синусоидальный сигнал (факультативный)	Тестирование с возрастающей нагрузкой, соответствующее сценариям худшего случая, с экстремальными вариациями нагрузки (например, до 100% пропускной способности выходных портов на всех узлах сети), при существенном изменении наименьшей задержки В некоторых случаях может позволить определить ширину полосы пропускания ведомого эталонного генератора	Большая длительность тестирования при использовании низких частот Не имитирует типовые характеристики реальных сетей

На рисунке I.2 приведены кривые максимального среднего отклонения частоты (MAFE), полученные для тестовых комбинаций задержки с использованием выбора минимум 1% пакетов и окна выбора, равного 60 с. Тестовые комбинации PDV, представленные кривыми с более высокими значениями тау, требуют большей стабильности тактового генератора, чтобы не превышался предел, установленный для выходного сигнала тактового генератора.



G. 8263-Y.1363(12)-Amd.2(14)\_F1.2

ПРИМЕЧАНИЕ. – Значения применимого сетевого предела указаны в микросекундах.

**Рисунок I.2 – Кривые MAFE для тестовых комбинаций**

ПРИМЕЧАНИЕ. – Тестовые комбинации PDV, которые реализуют максимально разрешенный допуск, искусственно формируются с помощью этих методов. В связи с этим они, возможно, не соответствуют PDV, которая может иметь место или возникать в реальной развернутой сети, или PDV, которая получится в результате передачи пакетов по пакетной сети, осуществляемой пакетным ведущим тактовым генератором. Некоторые из описанных методик формирования тестовых комбинаций PDV, в частности третья методика (один синусоидальный сигнал), могут не позволить в полной мере воспользоваться усовершенствованными методами фильтрации. Поэтому, чтобы успешно выдерживать эти искусственные тестовые комбинации PDV, может потребоваться тактовый генератор с меньшей шириной полосы пропускания и очень стабильный гетеродин.

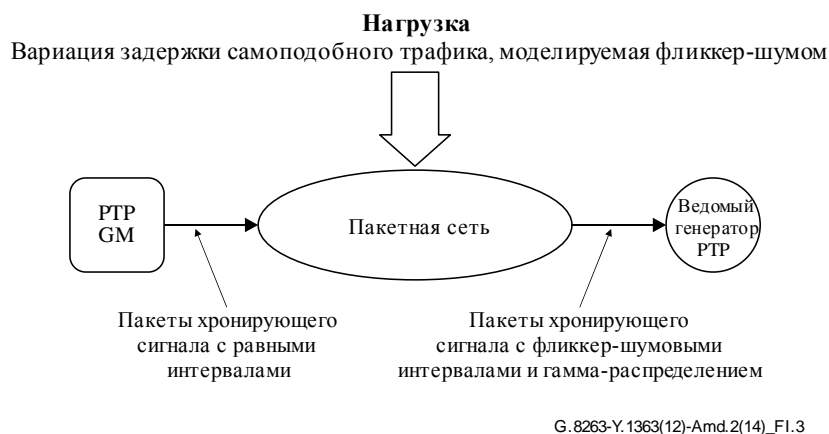
### I.2.1 Тестовые комбинации PDV на основе фликкер-шума

Метод формирования тестовых комбинаций PDV, приведенный в данном пункте, заключается в комбинированном использовании фликкер-шума и функции плотности вероятности, задаваемой гамма-распределением, в качестве статистической модели PDV.

#### Назначение и применимость

Данный метод основан на упрощенной статистической модели сети с неравномерным трафиком. В предыдущих исследованиях трафика интернета ([x], [y]) показано, что распределение трафика имеет неравномерный характер в сетях самых разных масштабов и что данный самоподобный процесс может быть представлен с использованием фликкер-шума для моделирования нагрузки. Кроме того, можно показать, что постановка в очередь, осуществляемая каким-либо коммутатором или маршрутизатором пакетов, налагает гамма-распределение на функцию плотности вероятности задержки, вызванной этим коммутатором или маршрутизатором. Результирующая статистическая модель может быть показана в виде схемы, приведенной на рисунке I.3:





**Рисунок I.3 – Статистическая модель PDV для пакетов хронизирующего сигнала**

Эта модель не включает возможные переходные режимы, которые могут возникать в пакетных сетях, например скачки или вариации наименьшей задержки. Кроме того, она, возможно, не точно моделирует сеть с достаточно равномерным трафиком (например, трафик с постоянной скоростью передачи).

Поэтому данный метод считается приемлемым в качестве минимального теста для определения допуска на шум для пакетного ведомого тактового генератора. Рекомендуется провести дополнительное тестирование, чтобы гарантировать способность этого генератора выдерживать более сложные ситуации с переходными режимами, возникающие в сети.

### Параметры и пример

Параметры тестовой комбинации PDV, включая стандартное отклонение тестовой комбинации на основе фликкер-шума, а также параметры альфа и бета гамма-функции, связаны с физическими характеристиками сети, такими как суммарная нагрузка на сеть, индивидуальная нагрузка на выходной порт каждого коммутатора и количество коммутаторов в сети.

Процедура определения последовательности PDV является следующей:

- 1) создание фликкер-шумовой последовательности, представляющей значения нагрузки от 0% до 100%;
- 2) преобразование отдельных значений нагрузки, содержащихся во фликкер-шумовой последовательности, в гамма-распределения PDV, определяемые параметрами  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\rho$ .

### Формирование фликкер-шумовой последовательности значений нагрузки

Фликкер-шумовая последовательность значений нагрузки формируется с использованием метода Барнса-Джарвиса-Гринхолла. Этот метод описан в [b-Barnes & Greenhall], а дополнительная информация и общие характеристики представлены в [b-Barnes & Jarvis] и [b-Corsini & Saletti]. В этом методе последовательность независимых и одинаково распределенных случайных отсчетов подается на вход блока каскадных фильтров опережения и запаздывания, частотная характеристика которых аппроксимирует передаточную функцию, обратно пропорциональную квадратному корню от  $f$ , то есть:

$$H(f) = \frac{1}{\sqrt{f}} \quad (I-1)$$

где  $f$  – частота в Фурье-образе и  $H(f)$  – частотная характеристика. Если на вход этого фильтра подается белый шум с постоянной спектральной плотностью мощности  $A$ , то спектральная плотность мощности выходного сигнала равна:

$$S_{out}(f) = |H(f)|^2 A = \frac{A}{f} \quad (I-2)$$

Спектральная плотность мощности, задаваемая уравнением (I-2), представляет собой фликкер-шум, то есть она пропорциональна  $1/f$ .

Блок фильтров опережения и запаздывания иногда называется фильтром Барнса-Джарвиса-Гринхолла, и каждый фильтр опережения и запаздывания в этом блоке иногда называется звеном фильтра Барнса-Джарвиса-Гринхолла. Каждое звено имеет приблизительно постоянное усиление на низкой частоте и высокой частоте, при этом усиление на низкой частоте превышает усиление на высокой частоте, и при переходе между областями низких и высоких частот наклон характеристики составляет  $-20$  дБ на декаду. Это приводит к тому, что частотная характеристика фильтра Барнса-Джарвиса-Гринхолла напоминает ряд "скачков", то есть горизонтальные уровни, соединенные переходами с наклонами  $-20$  дБ на декаду. Интервал между полюсами и нулями звеньев выбирается таким образом, чтобы усиление было обратно пропорционально квадратному корню от частоты. Количество звеньев и интервал между полюсами и нулями определяют диапазон частот, в котором работает фильтр, то есть фильтр реализуется в дискретной области (см. ниже) и работает в конечном диапазоне частот. Наконец, передаточная функция фильтра умножается на постоянную величину, значение которой выбирается так, чтобы добиться необходимого уровня (то есть в уравнении (I-1) на частоте  $f = 1$  Гц частотная характеристика принимает значение, равное 1).

Реализация фильтра Барнса-Джарвиса-Гринхолла в дискретные моменты времени осуществляется следующим образом (см. [b-Barnes & Jarvis]). Пусть  $M$  равно количеству звеньев, а  $Y_n^{(k)}$  является состоянием  $k$ -го звена на  $n$ -м интервале. Тогда состояния фильтра в дискретные моменты времени описываются следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}
 Y_n^{(1)} &= \phi^{(1)}Y_{n-1}^{(1)} + P_n \\
 Y_n^{(2)} &= \phi^{(2)}Y_{n-1}^{(2)} + Y_n^{(1)} - \theta^{(2)}Y_{n-1}^{(1)} \\
 &\quad \vdots \\
 Y_n^{(k)} &= \phi^{(k)}Y_{n-1}^{(k)} + Y_n^{(k-1)} - \theta^{(k)}Y_{n-1}^{(k-1)} \\
 &\quad \vdots \\
 Y_n^{(M)} &= \phi^{(M)}Y_{n-1}^{(M)} + Y_n^{(M-1)} - \theta^{(M)}Y_{n-1}^{(M-1)}
 \end{aligned} \tag{I-3}$$

Состояния фильтра устанавливаются в ноль, то есть:

$$Y_0^{(k)} = 0, \quad k = 1, 2, \dots, M \tag{I-4}$$

Коэффициенты фильтра задаются формулами:

$$\begin{aligned}
 R &= 2,5 \\
 \phi^{(1)} &= 0,13 \\
 \omega^{(1)} &= \frac{1 - \phi^{(1)}}{\sqrt{\phi^{(1)}}} \\
 &\text{и для } k = 1, 2, \dots, M: \\
 \omega^{(k)} &= \frac{\omega^{(1)}}{R^{k-1}} \\
 \theta^{(k)} &= 1 + \frac{\omega^{(k)} \left[ \omega^{(k)} - \sqrt{(\omega^{(k)})^2 + 4} \right]}{2} \\
 \mu^{(k)} &= \frac{\omega^{(k)}}{R} \\
 \phi^{(k)} &= 1 + \frac{\mu^{(k)} \left[ \mu^{(k)} - \sqrt{(\mu^{(k)})^2 + 4} \right]}{2}
 \end{aligned} \tag{I-5}$$

Выходной сигнал последнего звена,  $Y_k^{(M)}$ , представляет собой фликкер-шумовой процесс.  $P_n$  – это отсчеты процесса, происходящего в дискретном времени и представляющего собой белый шум с нулевым средним. Стандартное отклонение этого процесса определяет уровень фликкер-шумового

процесса. Величина  $R$  определяет интервал между последовательными полюсами и нулями. Обнаружилось, что если выбрать  $R = 2,5$  и  $M = 8$ , то можно создать фликкер-шумовой сигнал длительностью пятьдесят лет. Данное открытие было проверено путем моделирования фликкер-шума при этих значениях  $R$  и  $M$  (и  $\phi^{(1)} = 0,13$ ), вычисления статистического показателя стандартного отклонения времени (TDEV) и проверки того, что TDEV зависит от фликкер-шума (то есть имеет приблизительно постоянное значение в диапазоне наблюдения).

Указанное выше свидетельствует о том, что процесс  $P_n$  является белым, то есть его последовательные отсчеты статистически независимы. Во многих приложениях  $P_n$  также является гауссовым процессом; однако в данном случае удобно считать, что  $P_n$  имеет равномерное распределение вероятности на интервале  $[0,1]$ . Желательно, чтобы значения нагрузки также находились в этом интервале (то есть 0% – 100%). Вместе с тем выбор процесса  $P_n$ , расположенного на интервале  $[0,1]$ , не гарантирует, что значение на выходе фильтра Барнса-Джарвиса-Гринхолла (то есть  $Y_n^{(M)}$ ) также будет находиться на этом интервале. Однако значения нагрузки, находящиеся на интервале  $[0,1]$ , можно получить с помощью масштабирования  $Y_n^{(M)}$  следующим образом. Допустим, что фильтр Барнса-Джарвиса-Гринхолла используется для формирования  $N$  отсчетов фликкер-шума  $Y_n^{(M)}$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots, N$ . Пусть  $Y_{\max}^{(M)}$  и  $Y_{\min}^{(M)}$  будут, соответственно, максимальным и минимальным значениями этих отсчетов. Тогда значение нагрузки  $X_n^{(M)}$ , соответствующее  $n$ -му отсчету, задается формулой:

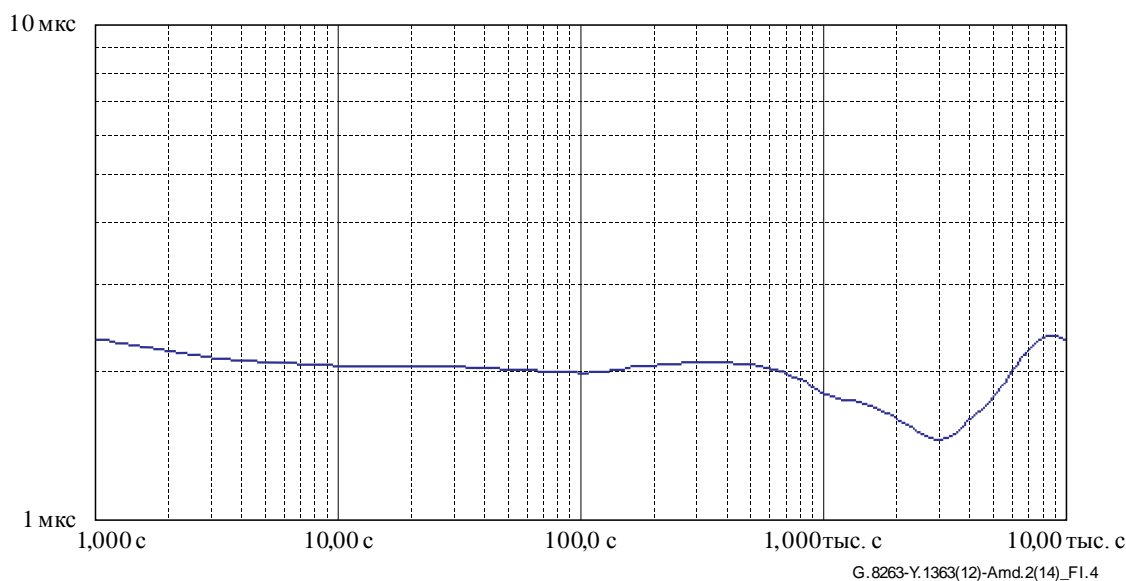
$$X_k^M = \frac{Y_k^M - Y_{\min}^M}{Y_{\max}^M - Y_{\min}^M} = 100 \cdot \frac{Y_k^M - Y_{\min}^M}{Y_{\max}^M - Y_{\min}^M} \% \quad (I-6)$$

Отметим, что в данном методе масштабирования значений на выходе фильтра Барнса-Джарвиса-Гринхолла будет ровно одно значение нагрузки, равное 0%, одно значение нагрузки, равное 100%, и каждое последующее значение нагрузки будет отличаться от предыдущего.

Наконец, отсчеты, равномерно распределенные на интервале  $[0,1]$ , формируются с помощью генератора случайных чисел. Длина цикла генератора случайных чисел должна быть как минимум равна необходимому числу фазовых отсчетов, чтобы отсчеты обладали свойствами независимого случайного процесса.

При расчете TDEV фликкер-шумовая характеристика набора данных видна как нулевой уклон. Она показана на рисунке I.4, где рассчитывается TDEV для тестовой комбинации PDV, которая формируется с помощью приведенной здесь и далее методики.

**TDEV комбинации PDV, формируемой на основе фликкер-шумовой нагрузки**



**Рисунок I.4 – TDEV комбинации PDV, формируемой на основе фликкер-шумовой нагрузки**

## Формирование гамма-распределения

Гамма-распределение определяется двумя параметрами: альфа ( $\alpha$ ) и бета ( $\beta$ ). Третий параметр, обозначенный буквой  $\rho$  ( $\rho$ ), необходим, чтобы показать смещение, поскольку гамма-распределение в чистом виде имеет минимум, равный нулю, тогда как минимальное время задержки пакетов в каком-либо определенном сценарии – это число больше нуля. Функция плотности вероятности гамма-распределения, основанного на этих параметрах, описывается следующей формулой:

$$p_X(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \beta^\alpha (x - \rho)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-\rho)}, \quad x \geq \rho \quad (I-7)$$

где  $X$  – случайная величина, имеющая гамма-распределение, а  $x$  – независимая переменная распределения.

Приведение набора данных измерений к гамма-распределению включает использование процесса определения трех параметров:  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\rho$ . На первом этапе, после определения  $\rho$ , набор данных преобразуется к классическому гамма-распределению путем вычитания  $\rho$ . Иными словами,  $\rho$  принимается равным нулю. После этого преобразования используются различные методы расчета  $\alpha$  и  $\beta$  на основе данных. Одной из таких процедур является *метод моментов*, а другой – *оценка максимального правдоподобия*.

Ниже приводится описание процедуры *метода моментов*. На первом этапе рассчитываются первый и второй моменты распределения,  $m_1$  и  $m_2$ , то есть оценивается ожидаемое значение случайной величины,  $E(X)$ , и ожидаемое значение квадрата случайной переменной,  $E(X^2)$ . Моменты  $m_1$  и  $m_2$  можно оценить с помощью уравнений (I-8) и (I-9).

$$m_1 = (X_1 + \dots + X_n) / n \quad (I-8)$$

$$m_2 = (X_1^2 + \dots + X_n^2) / n \quad (I-9)$$

Соотношение между этими моментами и параметрами  $\alpha$  и  $\beta$  показано в уравнениях (I-10) и (I-11).

$$\alpha\beta = m_1 \quad (I-10)$$

$$\beta^2\alpha(\alpha + 1) = m_2 \quad (I-11)$$

Решая эти уравнения относительно  $\alpha$  и  $\beta$ , получим уравнения (I-12) и (I-13).

$$\alpha = m_1^2 / (m_2 - m_1^2) \quad (I-12)$$

$$\beta = (m_2 - m_1^2) / m_1 \quad (I-13)$$

Соотношение между нагрузкой и тремя параметрами гамма-распределения определяется на основе данных измерений для сети, соответствующей HRM-1 МСЭ-Т G.8261.1, при этом нагрузка увеличивается от 0% до 100% с шагом приращения 1%. Затем для данных PDV, полученных на каждом шаге, подбираются параметры альфа, бета и  $\rho$ .

При моделировании из данных было вычтено общее минимальное значение (в данном случае – 57,32 мкс). Затем были рассчитаны параметры  $\alpha$  и  $\beta$ , соответствующие гамма-распределению после вычитания  $\rho$  (минимальное значение) из каждого сегмента. Далее этот метод предусматривает получение аналитического решения для трех параметров  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\rho$ . Для этого точка, соответствующая 100%, была сохранена в качестве особого случая как скачок наименьшей задержки, произошедший при 100% нагрузке (наименьшая задержка достигла уровня, который на 95 мкс превышает минимальную наименьшую задержку, при этом первый центиль превышает минимальную наименьшую задержку на 114 мкс), и для подбора аппроксимирующей кривой использовались точки от 1% до 99%. Для трех наборов точек – последовательностей параметров  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\rho$  – были подобраны полиномы высокого порядка (6-го порядка), то есть уравнения вида:

$$y = Ax^6 + Bx^5 + Cx^4 + Dx^3 + Ex^2 + Fx + G, \quad (I-14)$$

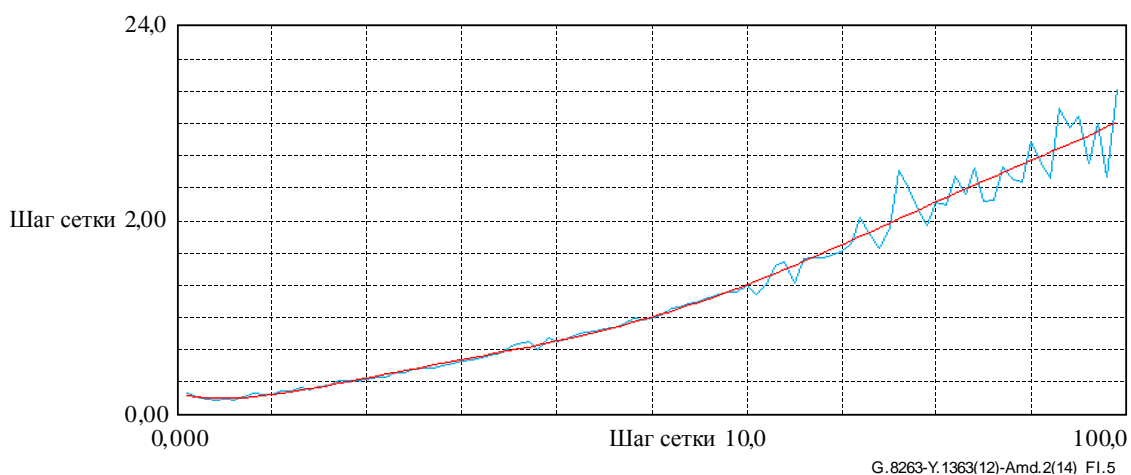
где  $x$  – значение нагрузки в % (то есть  $x$  находится в пределах от 0 до 100).

Исходные данные для параметров  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\rho$ , а также аппроксимирующие кривые показаны на рисунках I.5, I.6 и I.7.

Общий график XY; [file=alfa\_fit.txt]

1 [синяя линия]: исходные данные для параметра альфа

2 [красная линия]: аппроксимирующая кривая для параметра альфа

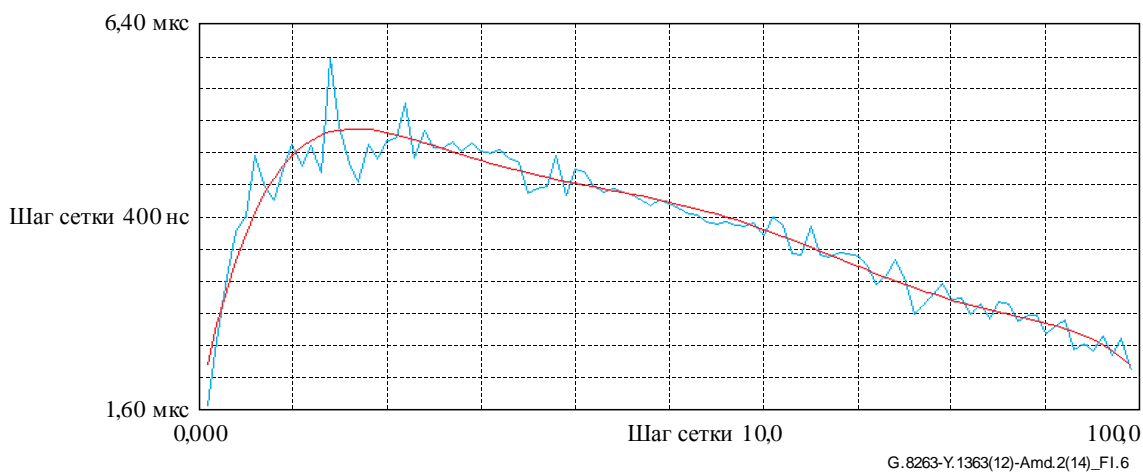


**Рисунок I.5 – Данные для параметра альфа**

Общий график XY; [file=beta\_fit.txt]

1 [синяя линия]: исходные данные для параметра бета

2 [красная линия]: аппроксимирующая кривая для параметра бета

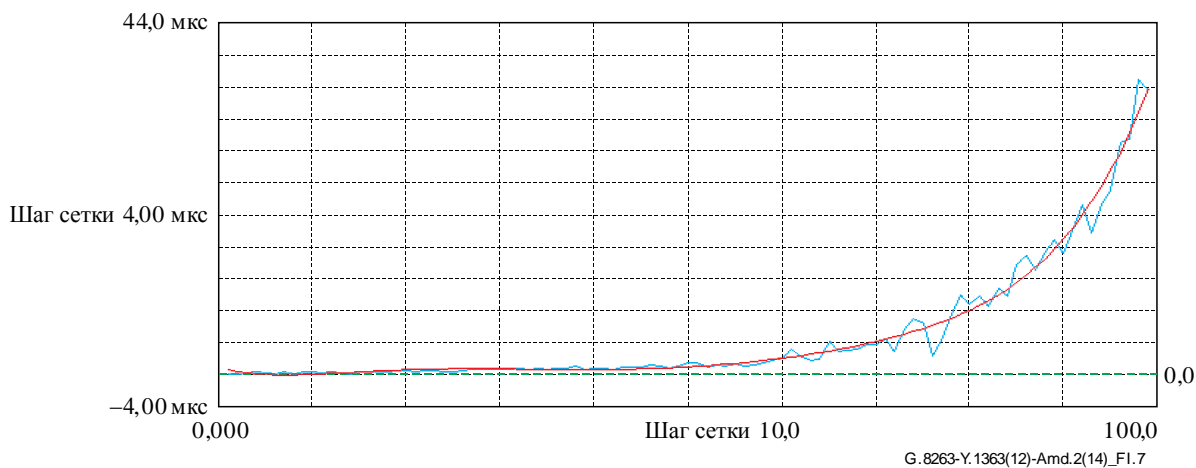


**Рисунок I.6 – Данные для параметра бета**

Общий график XY; [file=rho\_fit.txt]

1 [синяя линия]: исходные данные для параметра ро

2 [красная линия]: аппроксимирующая кривая для параметра ро



**Рисунок I.7 – Данные для параметра ро**

Получены следующие полиномиальные параметры (отметим, что для коэффициентов полиномиальных уравнений более высокого порядка важно оставлять большое количество цифр, как показано в таблице I.2).

**Таблица I.2 – Полученные полиномиальные параметры**

	$\alpha$	$\beta$	$\rho$
<i>A</i>	3,0302171048327E-10	-3,7527709385196E-16	1,0843935243576E-15
<i>B</i>	-9,7822643361772E-08	1,2590219237780E-13	-2,8578719666972E-13
<i>C</i>	1,1854660981753E-05	-1,6595170368502E-11	2,9508400604002E-11
<i>D</i>	-6,6624332958641E-04	1,0886566230108E-09	-1,4410536532614E-09
<i>E</i>	1,8713517871851E-02	-3,7186572402355E-08	3,3119857891960E-08
<i>F</i>	-1,4120879264166E-01	5,9390899042069E-07	-2,9200865252098E-07
<i>G</i>	1,3306420437613E+00	1,6110589771449E-06	8,1781119355525E-07

Рассмотрим конкретный пример: для нагрузки = 60%, подставив в уравнения значение 60, получим

$$\alpha = 8,0255194029732E+00$$

$$\beta = 3,8429770506754E-06$$

$$\rho = 2,0554033188099E-06$$

Эти уравнения применяются для значений нагрузки вплоть до 99. Для значений нагрузки выше 99 используются значения нагрузки в 100%:

$$\alpha = 2,0132036140218E+01$$

$$\beta = 2,96693980102245E-06$$

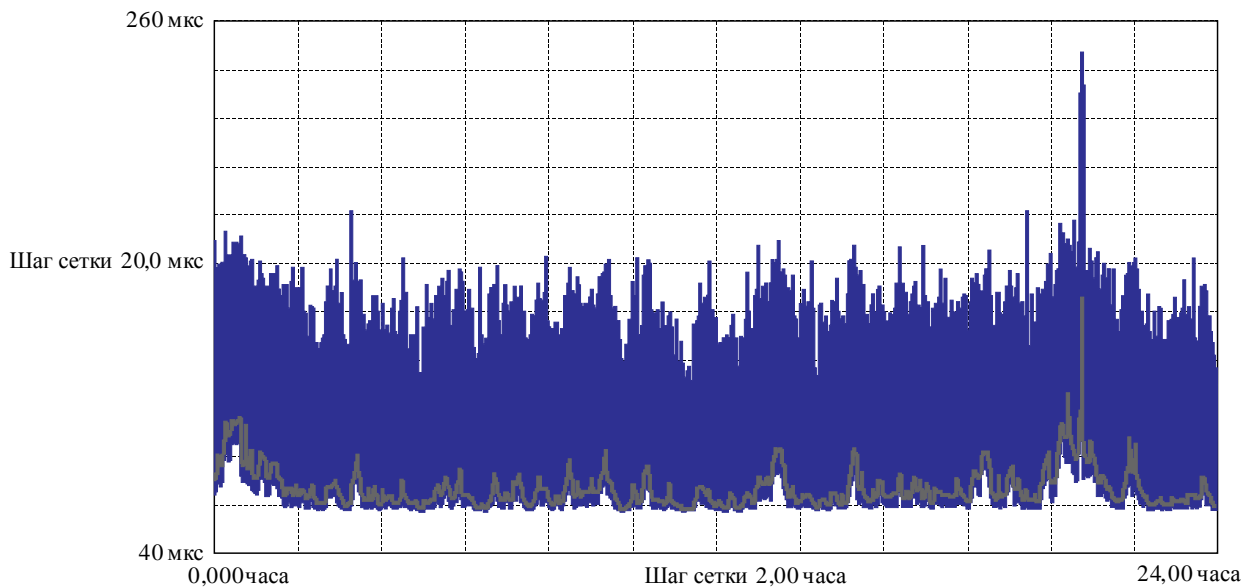
$$\rho = 5,59439990063761E-05$$

Эти три уравнения для  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\rho$ , а также значения данных параметров для особого случая при нагрузке более 99% применяются к фликкер-шумовой последовательности при изменении нагрузки от 0% до 100%. Вновь добавляется минимальное значение PDV в 57,32 мкс, которое было первоначально вычтено из данных.

### **Последовательность PDV на основе фликкер-шумовой нагрузки с гамма-распределением**

Фликкер-шумовая последовательность, содержащая 360 значений, каждое из которых соответствует интервалу времени в четыре минуты, при этом каждое значение используется для формирования соответствующего гамма-распределения с помощью описанных выше соотношений, образует последовательность длительностью 24 часа. На рисунке I.8 показаны результирующая последовательность PDV, а также график для первого центиля, полученного в окнах длительностью 200 с. Максимальное значение равно 146,35 мкс, что на 89,03 мкс превышает наименьшую задержку в 57,32 мкс.

Отклонение фазы в единицах времени;Fs = 64,00 Гц; Fo = 10,000000 МГц; 25.11.2013 г.; 00:00:00;  
[file=flicker\_gamma\_epn\_fwd.ait]  
1 [синяя линия]: PDV на основе фликкер-шумовой нагрузки; Кол-во отсчетов: 5529600; 25.11.2013 г.; 17:10:19  
8 [серая линия]: Первый центиль PDV



G.8263-Y.1363(12)-Amd.2(14)\_F1.8

**Рисунок I.8 – Первый центиль PDV**

### **I.2.2 Тестовые комбинации PDV на основе объединенных синусоидальных сигналов**

Метод формирования тестовых комбинаций PDV, приведенный в данном пункте, заключается в объединении синусоидальных сигналов, то есть в суммировании синусоидальных тестовых комбинаций и нормировании результирующей комбинации относительно сетевого предела, определенного в [ITU-T G.8261.1]. Описание синусоидальных тестовых комбинаций приводится в пункте I.2.3 (Этапы 1 и 2), где каждая синусоида состоит из функции синус с амплитудой 145 мкс, суммированной с шумовой тестовой комбинацией с уровнем 1 мс, при этом объединенная комбинация удовлетворяет сетевому пределу в 150 мкс.

#### **Назначение и применимость**

Одночастотные синусоидальные тестовые комбинации представляют собой комбинации для худшего случая, которые могут быть получены из сетевого предела, указанного в МСЭ-Т G.8261.1. Поскольку эти комбинации не существуют в реальных сетях, можно создать другую тестовую комбинацию, основанную на суммировании синусоидальных сигналов. И хотя эта тестовая комбинация по-прежнему является искусственной и не учитывает все статистические особенности PDV, которые могут иметь место, она в большей степени соответствует режиму работы реальных сетей. Еще одной причиной создания таких тестовых комбинаций является то, что одну тестовую комбинацию, содержащую несколько частотных составляющих, можно выполнить быстрее, чем тестовую последовательность, в которой различные синусоидальные комбинации выполняются последовательно.

#### **Параметры и пример**

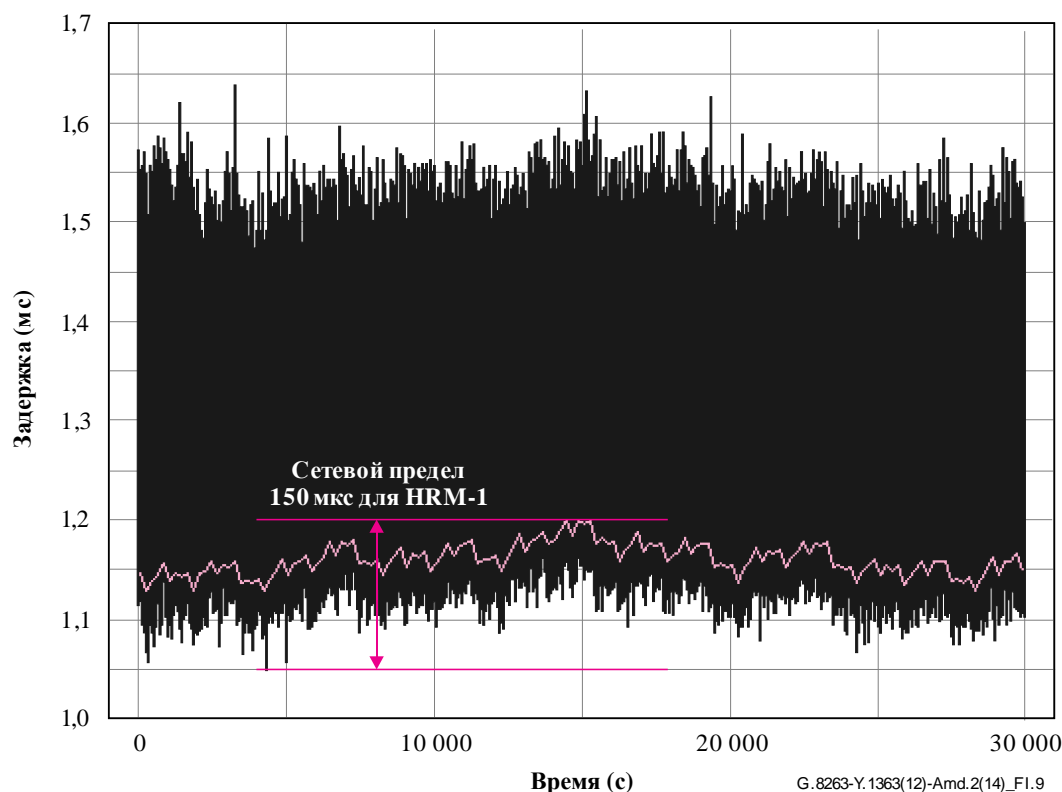
В реальных сетях комбинации нагрузки меняются в течение суток. Чтобы смоделировать эти комбинации, для наибольших по длительности составляющих синусоидального сигнала задаются такие фазы, при которых они одновременно достигают максимальные значений. Три составляющих наибольшей длительности – 30 тыс. с, 20 тыс. с, и 8 тыс. с – согласуются таким образом, чтобы пиковое значение достигалось при 15 тыс. с. Другие составляющие длительностью 4 тыс. с., 2 тыс. с, 800 с, 400 с, 200 с, 100 с и 50 с несколько сдвинуты по фазе, так чтобы одна и та же фаза не наступала одновременно в нескольких составляющих. Общая информация о фазах приведена в таблице I.3.

**Таблица I.3 – Фазы суммарных составляющих синусоидального сигнала**

Период	30 тыс. с	20 тыс. с	8 тыс. с	4 тыс. с	2 тыс. с	800 с	400 с	200 с	100 с	50 с
Фаза синусоиды равна 0° при	7,5 тыс. с	10 тыс. с	5 тыс. с, 13 тыс. с	1,5 тыс. с	1 тыс. с	600 с	0 с	0 с	50 с	25 с

После сложения тестовых комбинаций значения делятся на коэффициент нормирования, с тем чтобы во всех окнах по 200 с как минимум 1% пакетов находился в рамках сетевого предела, указанного в [ITU-T G.8261.1].

На рисунке I.9, ниже, представлен пример тестовой комбинации PDV, сформированной с использованием аналогичного метода.



ПРИМЕЧАНИЕ. – Лиловым цветом обозначена кривая, соответствующая 1%.

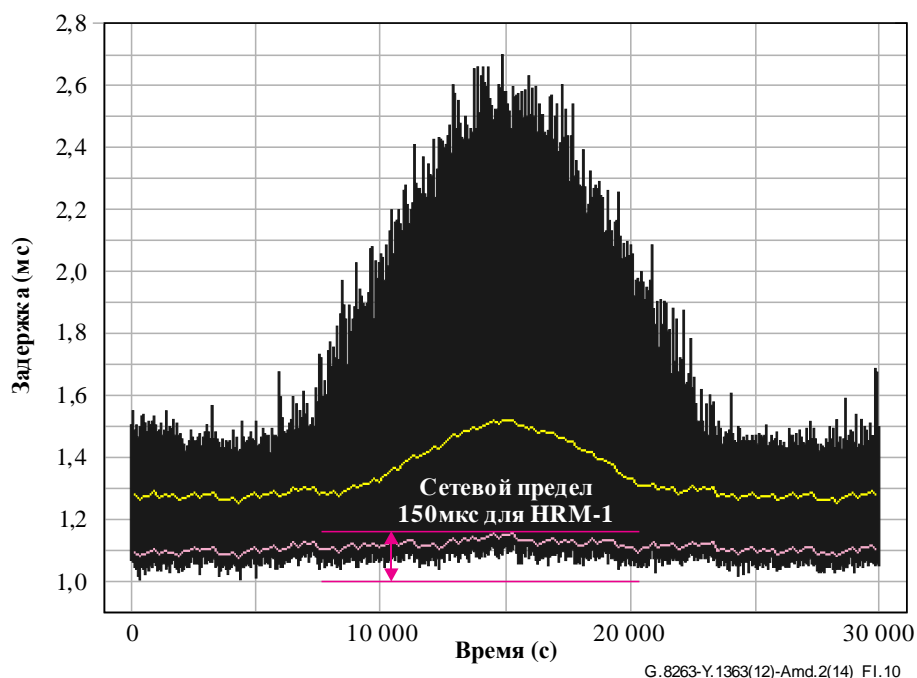
**Рисунок I.9 – Тестовая комбинация PDV на основе объединенных синусоидальных сигналов**

### **Улучшение комбинации для тестирования способности тактовых генераторов к отбору пакетов**

Недостаток синусоидальных тестовых комбинаций проявляется в том, что тактовые генераторы без фильтрации пакетов, демонстрируют такие же или даже чуть более высокие показатели, что и генераторы, осуществляющие фильтрацию пакетов. Это связано с тем, что средняя задержка всех пакетов обладает такой же или даже более гладкой характеристикой, что и среднее значение для пакетов с минимальной задержкой.

Тестовую комбинацию можно улучшить, заменив часть значений, превышающих огибающую по уровню 2%, значениями, которые обладают характеристикой с большей амплитудой, как показано на рисунке I.10. 2% пакетов с наименьшей задержкой в каждом окне 200 с можно не заменять. Таким образом, сигнал на выходе тактовых генераторов без фильтрации пакетов будет хуже, чем у генераторов с фильтрацией. Можно использовать разные тестовые комбинации. Однако размах кривой средней задержки, рассчитанной в окнах 200 с, может составлять максимум 300 мкс.





ПРИМЕЧАНИЕ. – Нижняя кривая показывает огибающую по уровню 1%, а верхняя кривая – среднюю задержку.

**Рисунок I.10 – Пример улучшенной тестовой комбинации PDV на основе объединенного синусоидального сигнала**

### I.2.3 Тестовые комбинации PDV на основе одного синусоидального сигнала

Метод формирования тестовых комбинаций PDV, приведенный в данном пункте, заключается в использовании одного синусоидального сигнала для модулирования наименьшей задержки случайным образом взятых отсчетов задержки по экспоненциальному закону распределения. Для тестирования свойств пакетного ведомого тактового генератора и допуска для него могут последовательно применяться несколько частот. Данный метод является адаптацией традиционных методов, используемых для описания допуска на шум для тактовых сигналов физического уровня, к шуму, обусловленному PDV.

#### Назначение и применимость

Данный метод не предназначен для моделирования типового режима работы сети. Однако он может быть полезен при подробном изучении режимов работы пакетных тактовых генераторов. Меняя период синусоидального колебания, можно получить информацию о полосе пропускания фильтра пакетных тактовых генераторов. С другой стороны, меняя амплитуду, можно получить информацию о пороговых значениях применительно к линейному и нелинейному режимам тактовых генераторов. Вместе с тем следует отметить, что в [ITU-T G.8263] не определены требования к данному параметру.

#### Параметры и пример

Ниже приводится описание процесса, который предложен для модулирования наименьшей задержки отсчетов PDV с использованием синусоидального сигнала.

*Этап 1:*

Генерируется синусоидальная тестовая комбинация, которая соответствует низкочастотной составляющей, применимой к наименьшей задержке. Эта синусоидальная тестовая комбинация,  $w(t)$ , определяется двумя параметрами:

- $A$ : характеризует размах синусоидального сигнала;
- $T$ : характеризует период синусоидального сигнала.

Синусоидальная тестовая комбинация задается уравнением:

$$w(t) = \frac{A}{2} \left( 1 + \sin \frac{2\pi t}{T} \right) \quad (\text{I-15})$$

Параметры  $A$  и  $T$  выбираются из таблицы I.4.

Этап 2:

К исходному синусоидальному сигналу добавляется шум PDV, основанный на следующей функции плотности вероятности:

$$p(x) = \frac{1+\gamma}{Y} \left( 1 - \frac{x}{Y} \right)^\gamma \quad (\text{I-16})$$

где  $Y$  – амплитуда шума, а  $\gamma$  – параметр формы. Соответствующая кумулятивная функция распределения вероятности задается уравнением:

$$P(x) = \int_0^x p(u) du = 1 - \left( 1 - \frac{x}{Y} \right)^{1+\gamma} \quad (\text{I-17})$$

Ниже приводится описание использования этой комбинации при тестировании допуска тактовых генераторов на сетевой предел HRM-1. Вместе с тем эту тестовую комбинацию не предполагается использовать для тестирования на соответствие, потому что, как ожидается, данная тестовая комбинация задержки для худшего случая никогда не встретится в реальных сетях HRM-1.

Для того чтобы в каждом окне количество отсчетов с задержками, не превышающими 150 мкс, было примерно равно 1% от общего количества отсчетов в окне (то есть любые отличия от 1% были обусловлены только статистическим разбросом), можно изменять во времени либо амплитуду  $Y$ , либо параметр формы  $\gamma$  для распределения, соответствующего этапу 1. Если амплитуда  $Y$  изменяется во времени, то она задается уравнением:

$$Y(t) = \frac{150 \mu\text{s} - w(t)}{1 - (0,99)^{1/(1+\gamma)}} \quad (\text{I-18})$$

где  $w(t)$  задается уравнением (I-15), при этом значения  $A$  в мкс и  $\gamma$  выбираются из таблицы I.4. Если параметр  $\gamma$  изменяется во времени, то он задается уравнением:

$$\gamma(t) = \frac{\ln(0,99)}{\ln \left( 1 - \frac{150 \mu\text{s} - w(t)}{Y} \right)} - 1 \quad (\text{I-19})$$

где  $Y$  выбирается из таблицы I.4. Следует отметить, что если используется уравнение (I-18) то при некоторых значениях времени  $Y(t)$  может выходить за пределы, указанные в таблице I.4, в зависимости от значения  $\gamma$ .

Кроме того, величины  $Y$  и  $\gamma$  могут оставаться неизменными во времени. В этом случае оба значения выбираются из таблицы I.4.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Если используются фиксированные значения  $Y$  и  $\gamma$ , то их следует выбирать таким образом, чтобы в каждом окне количество отсчетов PDV с задержками, не превышающими 150 мкс, было примерно равно 1% от общего количества отсчетов в окне. Это особенно важно, если этап 3, который является факультативным, не применяется. Распределение вероятности, задаваемое уравнениями (I-15) и (I-16), можно получить из равномерного распределения вероятности на интервале между 0 и 1 с помощью преобразования по экспоненциальному закону, где  $\gamma$  является экспонентой (то есть  $x = u^\gamma$ ); далее следует масштабирование с использованием коэффициента  $Y$  и отражение относительно  $x = Y/2$ .

### Этап 3:

Данный этап является факультативным; однако, если он выполняется, то используется следующая процедура. Отсчеты задержки результирующей тестовой комбинации PDV, включающей синусоидальный сигнал, перегруппируются таким образом, чтобы 1% отсчетов имел значения меньше 150 мкс в каждом окне 200 с, что соответствует сетевым пределам PDV для HRM-1. Данный этап применим к скачкообразно переходящим (то есть перекрывающимся) окнам.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Данный этап является факультативным, потому что синусоидально-модулированная тестовая комбинация PDV не обязательно является более сложной для ведомого тактового генератора при меньшем минимальном проценте пакетов (FPP). Что касается данной тестовой комбинации, то участками, которые легче всего выдержать ведомому тактовому генератору, являются участки, соответствующие пикам и впадинам синусоиды, то есть участки, где скорость изменения синусоиды является самой низкой, и наименьшая задержка меняется незначительно от одного окна к другому. Однако пикам также соответствует самый малый FPP.

Если более 1% отсчетов в окне имеют задержки менее 150 мкс, то из тех отсчетов, у которых задержки составляют менее 150 мкс, случайным образом выбираются  $N$  отсчетов. Этим отсчетам присваиваются значения, превышающие 150 мкс. Новое значение каждого отсчета выбирается случайным образом из равномерного распределения на интервале от 150 мкс до максимальной задержки, полученной на этапах 1 и 2. Количество отсчетов  $N$  – это максимальное число, при котором все еще остается 1% или более отсчетов с задержкой менее 150 мкс.

Если менее 1% отсчетов в окне имеют задержки менее 150 мкс, то из тех отсчетов, у которых задержки превышают 150 мкс, случайным образом выбираются  $N$  отсчетов. Этим отсчетам присваиваются значения, составляющие менее 150 мкс. Новое значение каждого отсчета выбирается случайным образом из равномерного распределения на интервале от значения минимальной задержки, модулированной синусоидальным сигналом, до 150 мкс. Количество отсчетов  $N$  – это минимальное число, обеспечивающее 1% или более отсчетов с задержкой менее 150 мкс.

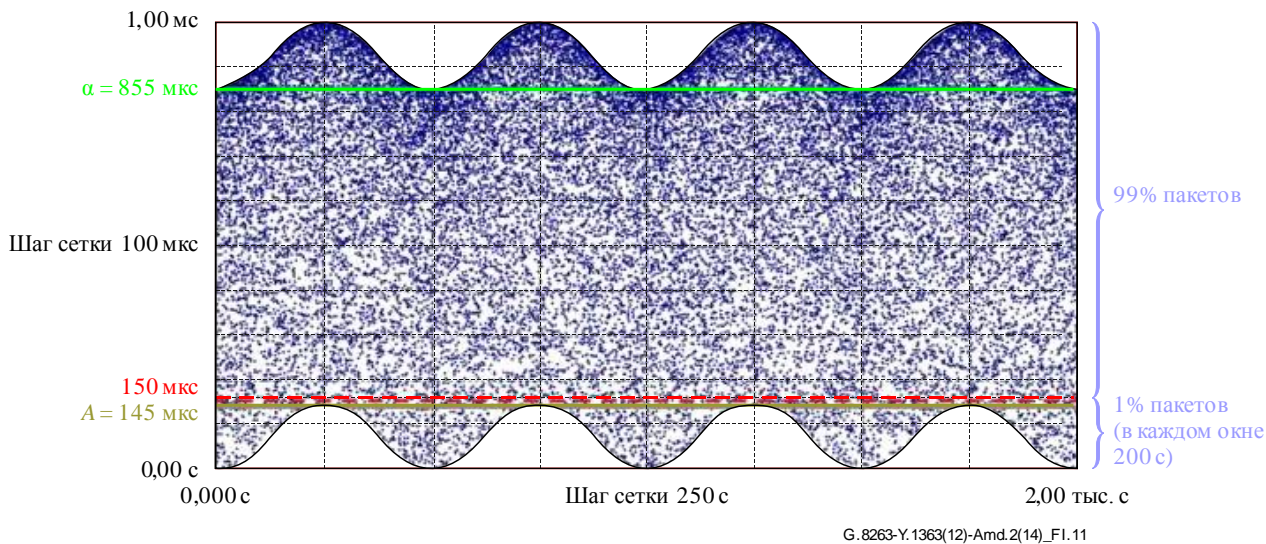
Формируются несколько результирующих тестовых комбинаций PDV, включающих синусоидальный сигнал, с разными периодами  $T$ , которые последовательно подаются на ведомый тактовый генератор PEC-S.

В приведенной ниже таблице I.4 указаны возможные интервалы параметров  $Y$ ,  $\gamma$ ,  $A$  и  $T$ , подлежащие учету при подаче нагрузки на PEC-S для HRM-1 [ITU-T G.8261.1]. Следует отметить, что если используется уравнение (I-18), то  $A$ ,  $T$  и  $\gamma$  выбираются, а  $Y$  вычисляется; если используется уравнение (I-19), то  $A$ ,  $T$  и  $Y$  выбираются, а  $\gamma$  вычисляется.

**Таблица I.4 – Нижний предел максимально допустимого синусоидального входного сигнала PDV для HRM-1**

Параметры исходного шума PDV		Параметры синусоидального сигнала	
$Y$ (мкс)	$\gamma$	$A$ (мкс)	$T$ (с)
[500, 10 000]	(-1, +4] (Примечание 1)	[0-150)	[200, 86 400]
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – параметр $\gamma$ должен быть строго больше -1. Если $\gamma = -1$ , то функция плотности вероятности в уравнении (I-16) равна 0, а если $\gamma < -1$ , то функция плотности вероятности имеет отрицательное значение. ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Интервал значений $A$ не включает конец, равный 150 мкс.			

На рисунке I.11, ниже, приведен пример тестовой комбинации PDV, сформированной с помощью данного метода, для случая, когда  $Y$  и  $\gamma$  неизменны во времени:



**Рисунок I.11 – Пример тестовой комбинации PDV на основе синусоидального сигнала ( $Y = 855$  мкс,  $\gamma = -0,5$ ,  $A = 145$  мкс,  $T = 500$  с)**

### 3) Библиография

*Добавить следующий библиографический указатель в конце Дополнений.*

## Библиография

- [b-Barnes & Greenhall] Barnes, J.A. and Greenhall, C.A. (1987), *Large Sample Simulation of Flicker Noise*, Proceedings of the 19th Annual Precision Time and Time Interval (PTTI), Corrections and addenda given in Proceedings of the 24th Annual Precision Time and Time Interval (PTTI) 1992.
- [b-Barnes & Jarvis] Barnes, J.A. and Jarvis, Jr. S. (1971), *Efficient Numerical and Analog Modeling of Flicker Noise Processes*, NBS Technical Note 604.
- [b-Corsini & Saletti] Corsini, G. and Saletti, R. (1988), *A  $1/f^2$  power spectrum noise generator*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 37, No. 4, December, pp. 615-619.
- [b-Leland et al.] Leland, W.E., Taqqu, M.S., Willinger, W. and Wilson, D.V. (1994), *On the self-similar nature of Ethernet traffic*, IEEE /ACM Transactions on Networking, Vol. 2, No. 1.
- [b-Sahinoglu & Tekinay] Sahinoglu, Z. and Tekinay, S. (1999), *"On multimedia networks: self-similar traffic and network performance"*, IEEE Communications Magazine, Vol. 37, No. 1.



РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ Y  
**ГЛОБАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА,  
АСПЕКТЫ ПРОТОКОЛА ИНТЕРНЕТ И СЕТИ ПОСЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ**

<b>ГЛОБАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА</b>	
Общие сведения	Y.100–Y.199
Услуги, приложения и промежуточные программные средства	Y.200–Y.299
Сетевые аспекты	Y.300–Y.399
Интерфейсы и протоколы	Y.400–Y.499
Нумерация, адресация и присваивание имен	Y.500–Y.599
Эксплуатация, управление и техническое обслуживание	Y.600–Y.699
Безопасность	Y.700–Y.799
Рабочие характеристики	Y.800–Y.899
<b>АСПЕКТЫ ПРОТОКОЛА ИНТЕРНЕТ</b>	
Общие сведения	Y.1000–Y.1099
Услуги и приложения	Y.1100–Y.1199
Архитектура, доступ, возможности сетей и административное управление ресурсами	Y.1200–Y.1299
<b>Транспортирование</b>	<b>Y.1300–Y.1399</b>
Взаимодействие	Y.1400–Y.1499
Качество обслуживания и сетевые показатели качества	Y.1500–Y.1599
Сигнализация	Y.1600–Y.1699
Эксплуатация, управление и техническое обслуживание	Y.1700–Y.1799
Ведение расчетов	Y.1800–Y.1899
IPTV по СПП	Y.1900–Y.1999
<b>СЕТИ ПОСЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ</b>	
Структура и функциональные модели архитектуры	Y.2000–Y.2099
Качество обслуживания и технические характеристики	Y.2100–Y.2199
Аспекты обслуживания: Возможности обслуживания и архитектура обслуживания	Y.2200–Y.2249
Аспекты обслуживания: Функциональная совместимость услуг и сетей в СПП	Y.2250–Y.2299
Совершенствование СПП	Y.2300–Y.2399
Управление сетью	Y.2400–Y.2499
Архитектура и протоколы сетевого управления	Y.2500–Y.2599
Пакетные сети	Y.2600–Y.2699
Безопасность	Y.2700–Y.2799
Обобщенная мобильность	Y.2800–Y.2899
Открытая среда операторского класса	Y.2900–Y.2999
<b>БУДУЩИЕ СЕТИ</b>	<b>Y.3000–Y.3499</b>
<b>ОБЛАЧНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ</b>	<b>Y.3500–Y.3999</b>

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

## СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия А	Организация работы МСЭ-Т
Серия D	Общие принципы тарификации
Серия E	Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы
Серия F	Нетелефонные службы электросвязи
<b>Серия G</b>	<b>Системы и среда передачи, цифровые системы и сети</b>
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	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	Оконечное оборудование, субъективные и объективные методы оценки
Серия Q	Коммутация и сигнализация
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
<b>Серия Y</b>	<b>Глобальная информационная инфраструктура, аспекты протокола Интернет и сети последующих поколений</b>
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи