

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.2003-2
(01/2018)

Беспроводные системы с пропускной способностью несколько гигабит/с на частотах около 60 ГГц

Серия М

**Подвижные службы, служба радиоопределения,
любительская служба и относящиеся к ним
спутниковые службы**



Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2018 г.

© ITU 2018

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.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.2003-2

**Беспроводные системы с пропускной способностью несколько гигабит/с
на частотах около 60 ГГц**

(Вопрос МСЭ-R 212-3/5)

(2012-2015-2018)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации представлены общие характеристики и стандарты радиоинтерфейсов беспроводных систем с пропускной способностью несколько гигабит/с, работающих на частотах около 60 ГГц.

Ключевые слова

MGWS, WLAN, RLAN, локальный беспроводной доступ, сети, локальные радиосети, система подвижной связи на малых расстояниях (CPMS)

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что беспроводные системы с пропускной способностью несколько гигабит/с (MGWS) широко используются для стационарного, полустационарного (транспортируемого) и переносимого компьютерного оборудования для разнообразных применений широкополосной связи;
- b)* что, как ожидается, MGWS будут охватывать применения для беспроводной передачи цифровых видеосигналов и аудиосигналов, применения для управления, а также беспроводные локальные сети с пропускной способностью несколько гигабит/с (WLAN) и систему подвижной связи пункта с пунктом на малых расстояниях;
- c)* что стандарты MGWS разработаны для работы в диапазоне 60 ГГц;
- d)* что MGWS должны внедряться при тщательном рассмотрении совместимости с другими радиоприменениями;
- e)* что многие администрации разрешают MGWS, включая устройства локальных радиосетей (RLAN) и персональных беспроводных сетей (WPAN), работать в диапазоне 60 ГГц на основе освобождения от лицензирования;
- f)* что согласованное использование частот в диапазоне 60 ГГц для подвижной службы способствовало бы внедрению MGWS, в том числе RLAN,

признавая,

- a)* что и потребители, и производители получают выгоды от согласованного на глобальном уровне использования спектра диапазона 60 ГГц для MGWS;
- b)* что, несмотря на то что системы MGWS использовались главным образом для применений внутри помещений, ряд администраций разрешает использовать эти системы вне помещений,

отмечая,

что в нескольких стандартах предусматриваются варианты реализации MGWS,

рекомендует,

чтобы использовались стандарты и характеристики систем MGWS, содержащиеся в Приложении 1.

Приложение 1

Общие характеристики беспроводных систем для диапазона 60 ГГц с пропускной способностью несколько гигабит/с

1 Обзор

Сети радиосвязи беспроводных систем с пропускной способностью несколько гигабит/с (MGWS) могут использоваться на коротких расстояниях как в условиях прямой видимости, так и при отсутствии прямой видимости с традиционной топологией WLAN. Системы MGWS могут также использоваться для высокоскоростной связи на предельно малых расстояниях, где дальность радиосвязи составляет несколько сантиметров, при этом устройства, соединяющие пункт с пунктом, находятся в непосредственной близости друг от друга.

Применительно к WLAN общая дальность и качество связи будут зависеть как от проектного решения системы (например, количества антенных элементов), так и от окружающих условий, однако ожидается, что пропускная способность в несколько гигабит/с будет обычно достигаться на дальности около 10 м при работе в комнатных условиях, когда устройства оснащены, как правило, немногими (≤ 3) десятками антенных элементов, и около нескольких сотен метров при работе на открытом воздухе, где устройства могут быть оборудованы несколькими (≥ 6) десятками антенных элементов. Эти сети могут быть развернуты как в точках доступа уже существующих сетей WLAN, так и при отсутствии такой инфраструктуры, например, как в сети WLAN, работающей в специальном режиме, и в персональной беспроводной сети (WPAN).

Топология связи на малых расстояниях представляет собой два устройства (также называемые парой) с ожидаемой производительностью до 100 Гбит при расстоянии между устройствами не более 10 см (устройства почти соприкасаются) и кратковременном соединении (быстрой установкой и разрывом соединения). Устройства для связи на малых расстояниях, как правило, будут иметь один антенный элемент и очень низкую мощность передачи.

Когда используются точки доступа, они устанавливаются внутри помещений, зона обслуживания охватывает пространство дома или офиса и терминал пользователя с возможностью перемещения как правило используется тоже внутри помещения, то есть вся система WLAN используется во внутренних условиях. Для повышения дальности действия и пропускной способности точка доступа обычно оборудуется большим количеством антенных элементов, чем оконечные устройства пользователей.

Когда точки доступа не используются, устройствам MGWS разрешается осуществлять связь путем установления прямых линий обмена данными между устройствами/оборудованием. Типовые применения включают связь оборудования с оборудованием (например, портативного компьютера с проектором) и устройства бытовой электроники (СЕ) с киоском¹, и можно считать, что они будут использоваться главным образом внутри помещений. В некоторых применениях кочевые устройства устанавливают соединение со стационарными устройствами (например, киоском, входом в помещение, турникетом, торговым автоматом) на очень короткое время для передачи большого объема данных, например для скачивания 2 часов видеоконтента высокой четкости за 250 мс при проходе через турникет на входе в здание аэропорта или вокзала. При использовании действующих в непосредственной близости применений возможна высокая концентрация устройств и пользователей в ограниченном пространстве, например при проходе через турникеты² на входе в здание железнодорожного вокзала или аэропорта.

¹ В данном контексте киоск представляет собой кабину, в которой обеспечивается распределение такого электронного контента, как кино, музыка, видеоизображения, электронные книги и т. п., а также доступ к ним.

² В данном контексте турникет обладает функциями как приема оплаты за проезд, так и скачивания объемных файлов и используется на железнодорожных вокзалах и станциях метро. К объемным файлам относятся видеоматериалы, кинофильмы и т. д.

2 Технические характеристики MGWS

2.1 Частотный спектр

Для удовлетворения потребностей применений³, которые предусматривается использовать в полосе 57–71 ГГц, таких как передача видеосигналов без сжатия (например, мультимедийный интерфейс высокой четкости HDMI с пропускной способностью 3 Гбит/с), беспроводное подключение к стыковочному блоку, использование беспроводных сетей и быстрая выгрузка/загрузка, необходима минимальная величина непрерывного частотного спектра 7 ГГц. Это позволило бы разместить до шести каналов для достижения гибкости и расширения возможности установления соединений. Кроме того, ширина полосы одного канала 2160 МГц позволяет применять более простые схемы модуляции для достижения скоростей передачи данных в несколько Гбит/с и подходит для применения в таких маломощных устройствах, как смартфоны, планшеты, нетбуки и портативные компьютеры. Если отдельные каналы соединяются для достижения большей пропускной способности, ширина полосы определяется как целое число, кратное 2160 МГц, для обеспечения возможности сосуществования с системами 2160 МГц.

2.2 Ширина полосы и центральные частоты каналов

Для отдельных каналов требуемая ширина полосы составляет 2160 МГц, допускается также объединение отдельных каналов. Важно, чтобы в целях содействия лучшему сосуществованию в стандартах MGWS применялась одна и та же схема размещения каналов. Для отдельных каналов рекомендуются следующие центральные частоты: 58,32, 60,48, 62,64, 64,80, 66,96 и 69,12 ГГц. Центральные частоты для объединенных каналов зависят от того, сколько отдельных каналов было объединено, но они должны быть равномерно распределены относительно центральных частот отдельного канала.

2.3 Маска передачи

При работе одного канала применяется следующая маска.



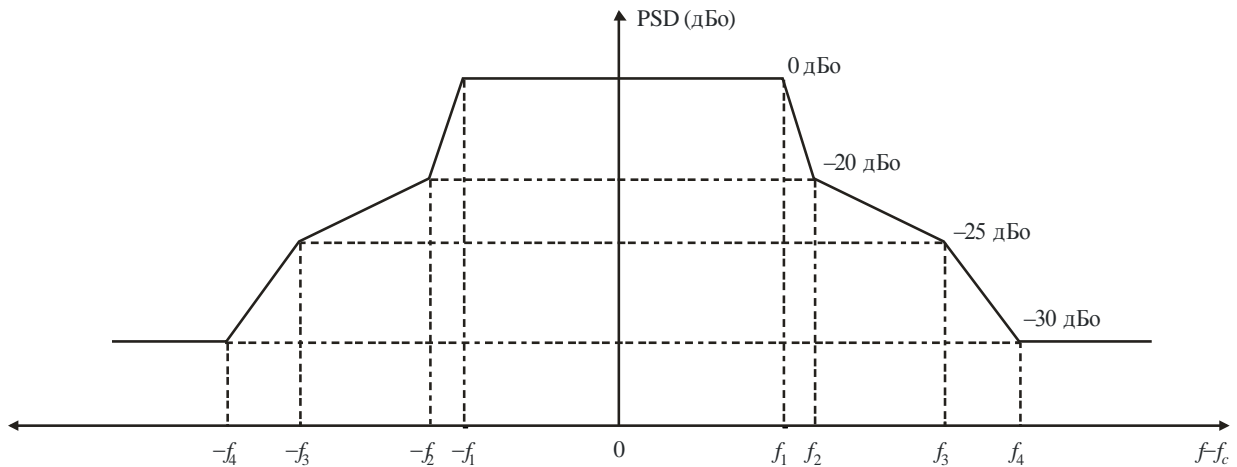
На рисунке 1 выше f_c – центральная частота несущей.

При объединении нескольких смежных каналов применяется следующая маска (рисунок 2 и таблица 1).

³ Системные требования приведены в стандартах, указанных в Приложении 1.

РИСУНОК 2

Спектральная маска при объединении нескольких смежных каналов



М.2003-02

ТАБЛИЦА 1

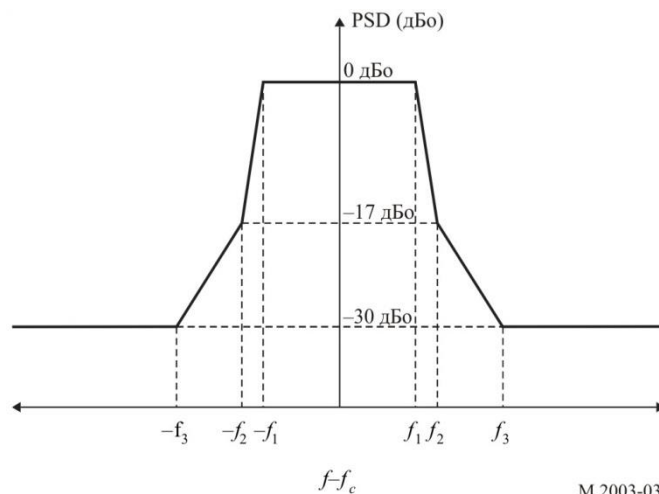
Параметры спектральной маски передачи

Объединение каналов	f_1 (ГГц)	f_2 (ГГц)	f_3 (ГГц)	f_4 (ГГц)
Передача двух объединенных каналов	2,100	2,160	3,000	4,000
Передача трех объединенных каналов	3,150	3,240	4,500	6,000
Передача четырех объединенных каналов	4,200	4,320	6,000	8,000

При объединении нескольких смежных каналов применяется альтернативная спектральная маска (рисунок 3 и таблицы 2 и 3).

РИСУНОК 3

Альтернативная маска спектральной плотности мощности при работе нескольких объединенных каналов



М.2003-03

ТАБЛИЦА 2

Относительное предельное значение маски спектральной плотности мощности при работе нескольких объединенных каналов

Частота	Относительное предельное значение (дБс)
$ f - f_c < f_1$	0
$f_2 \leq f - f_c < f_1$	$-17(f - f_c - f_1)/(f_2 - f_1)$
$f_3 \leq f - f_c < f_2$	$-17 - 13(f - f_c - f_2)/(f_3 - f_2)$
$f_3 \leq f - f_c $	-30

ТАБЛИЦА 3

Параметры маски спектральной плотности мощности передачи

Объединение каналов	f_1 (ГГц)	f_2 (ГГц)	f_3 (ГГц)
Передача двух объединенных каналов	1,880	2,400	4,000
Передача трех объединенных каналов	2,820	3,600	6,000
Передача четырех объединенных каналов	3,760	4,800	8,000

2.4 Общие характеристики

2.4.1 Диапазон эксплуатационных температур при передаче и приеме

Диапазон эксплуатационных температур при передаче и приеме соответствует стандарту IEEE 802.11-2016.

2.4.2 Допустимое отклонение центральной частоты

Допустимое максимальное отклонение центральной частоты передачи для диапазона 60 ГГц должно составлять $\pm 20 \cdot 10^{-6}$.

2.4.3 Допустимое отклонение частоты синхронизации символов

Допустимое максимальное отклонение частоты синхронизации символов для диапазона 60 ГГц должно составлять $\pm 20 \cdot 10^{-6}$. Центральная частота передачи и частота синхронизации символов выделяются из одного и того же опорного генератора.

2.4.4 Просачивание центральной частоты передачи

Величина просачивания центральной частоты передачи не должна превышать -23 дБ относительно общей мощности передачи или, эквивалентно, $2,5$ дБ относительно средней энергии остальных поднесущих (при ортогональном частотном разделении, OFDM).

2.4.5 Время нарастания и спада мощности передачи

Время нарастания при включении мощности передачи определяется временем нарастания от менее 10% до более 90% средней мощности, передаваемой в кадре.

Время нарастания при включении мощности передачи должно быть около 10 нс.

Время спада при выключении мощности передачи определяется временем спада от более 90% до менее 10% средней мощности, передаваемой в кадре.

Время спада при выключении мощности передачи должно быть около 10 нс.

2.4.6 Максимальный уровень мощности на входе

Максимальный входной уровень приемника – это максимальный уровень мощности входного сигнала, в дБм, присутствующий на входе приемника, при котором удовлетворяется критерий коэффициента ошибок (определяется в разделе "Чувствительность приемника"). Максимальный входной уровень приемной антенны (антенн) приемника, удовлетворяющего этому критерию, составляет не менее 10 микроватт/см² для каждого формата модуляции, поддерживаемого приемником.

2.4.7 Системные характеристики

Для того чтобы использовать весь потенциал, который может предоставить система MGWS, включая поддержку описываемых здесь применений и услуг, необходимо реализовать конкретные характеристики системного уровня:

- 1) **Пропускная способность:** в каждом устройстве MGWS, способном работать только с отдельными каналами, должны быть реализованы средства достижения максимальной пропускной способности, обеспечивающие скорость передачи данных не менее 1 Гбит/с, измеренную в верхней части уровня управления доступом к среде передачи данных. Если устройство MGWS способно работать с объединенными каналами, пропускная способность должна масштабироваться линейно в соответствии с количеством объединенных каналов.
- 2) **Дальность действия:** в системах WLAN должны быть реализованы средства достижения дальности действия не менее 10 м при скорости 1 Гбит/с, измеренной в верхней части уровня управления доступом к среде передачи данных, при определенных условиях отсутствия прямой видимости физического канала. Применительно к WPAN и CPMS дальность действия систем должна, как правило, быть менее 10 см для обеспечения многократного повторного использования частот.

В случае поддержки системой несжатого потокового видео, дополнительно к вышеупомянутым характеристикам, необходимо реализовать характеристики, указанные в таблице 4.

ТАБЛИЦА 4

Системные характеристики

Параметр	Значение	Описание
Скорость	3 Гбит/с	Несжатое видео, 1 080 p (RGB): 1 920 × 1 080 пикселей, 24 бит/пиксель, 60 кадров/с
Коэффициент потерь пакетов (полезная нагрузка 8 кБайт)	1e-8	
Задержка ⁴	10 мс	

2.4.8 Схемы доступа к каналу

Основной схемой доступа к каналу является многостанционный доступ с временным разделением (TDMA), при котором необходимо решать проблемы работы в диапазоне 60 ГГц, направленного характера связи и таких применений, как беспроводные дисплеи. TDMA может гарантированно обеспечить необходимую ширину полосы тем применениям, которые чувствительны к качеству обслуживания, благодаря ее характеристикам резервирования, при которых она остается энергетически эффективной, так как устройствам нет необходимости быть активными при прекращении связи.

Кроме того, поскольку TDMA работает по расписанию, станции точно знают, с какой другой станцией и когда они будут осуществлять связь, и поэтому они могут нацелить главный луч своей антенны в предназначенном направлении, и избавляются от потребности иметь всенаправленную связь, необходимую при доступе на основе конкуренции.

Доступ на основе конкуренции, какой предоставляется в сети Wi-Fi, тоже должен поддерживаться для использований, включающих веб-навигацию и передачу файлов. Однако доступ на основе

⁴ Эта величина определяет задержку от верхней части уровня MAC на одном конце линии до верхней части уровня MAC на другом конце линии.

конкуренции не является основной схемой доступа, и его следует использовать в течение интервалов времени, выделенных в инфраструктуре доступа к каналам TDMA.

2.5 Параметры для совместной работы

Для улучшения совместной работы важно, чтобы во всех системах MGWS использовалась одна и та же схема размещения каналов.

Примеры схем размещения каналов:

- 1) IEEE:
 - a) Стандарт IEEE 802.11-2016⁵ определяет ширину полосы канала 2160 МГц.
 - b) Стандарт IEEE 802.15.3-2016⁶ определяет ширину полосы канала 2160 МГц.
 - c) Стандарт IEEE 802.15.3e-2017⁷ определяет ширину полосы канала 2160 МГц при объединении до четырех каналов.

Перед тем как начать работу в канале, MGWS должна просмотреть этот канал и попытаться удостовериться, что ее работа не создаст помеху другим MGWS, работающим в этом канале.

Примеры методов ослабления действия помех:

- 1) IEEE:
 - a) Точка доступа в стандарте IEEE 802.11-2016 не должна начинать работу сети в канале, в котором уровень сигнала равен или выше -48 дБм, или при обнаружении действительного заголовка общего режима сигнализации (CMS) по стандарту IEEE 802.15.3с-2009 с уровнем приема, равным -60 дБм или выше. Определены также некоторые другие методы ослабления действия помех, в том числе такие, как коммутация каналов, управление мощностью передачи, создание специальной формы луча.
 - b) Стандарт IEEE 802.15.3с-2009 не позволяет контроллеру пикосети начать работу новой пикосети в канале, уже занятом другим контроллером пикосети. Метод общего режима сигнализации (CMS) был определен для того, чтобы несколько контроллеров пикосети могли совместно иметь доступ к каналу, используемому временные интервалы TDMA, распределенные детским пикосетям.
 - c) Стандарт IEEE 802.15.3e-2017 ограничивает дальность связи расстоянием в 10 см или менее и устанавливает очень низкий уровень э.и.и.м. Если расстояние между устройствами превышает 10 см, устройства разъединяются, а мощность излучения ограничивается периодическими сигналами.

2.6 Уровни чувствительности приема

Уровни чувствительности приема обычно составляют от -48 до -78 дБм.

Примеры уровней чувствительности приема:

- 1) IEEE: В стандарте IEEE 802.11-2016, коэффициент ошибок по пакетам (PER) менее 1% (5% для MCS 0) при длине PSDU 4096 октетов (256 октетов для MCS 0).

ПРИМЕЧАНИЕ. – При измерениях мощности на радиочастоте, основанных на плотности мощности, входной уровень должен быть скорректирован для компенсации отличия усиления реальной антенны от максимальной

⁵ Стандарт IEEE для информационных технологий – Электросвязь и обмен информацией между системами – Локальная и городская сети – Конкретные требования – Часть 11: Спецификации уровня управления доступом к среде передачи данных (MAC) и физического уровня (PHY) в беспроводной локальной сети, декабрь 2016 года.

⁶ Стандарт IEEE для беспроводных мультимедийных сетей с высокой скоростью передачи данных.

⁷ Поправка к Стандарту IEEE для беспроводных мультимедийных сетей с высокой скоростью передачи данных: высокоскоростная связь между двумя пунктами, расположенными в непосредственной близости друг от друга.

оценки усиления, указываемой производителем. В случае фазированной антенной решетки, усиление такой антенны равно максимальной сумме оценок усиления элементов минус 3 дБ потерь на реализацию.

2.7 Правила оценки занятости канала (CCA)

В системах MGWS для ослабления действия помех, создаваемых другими MGWS, могут применяться правила оценки занятости канала.

Например, в случае стандарта IEEE 802.11-2016 определено три набора MCS и для каждого набора MCS имеются свои правила CCA. Наборы MCS следующие:

- a) MCS0: известен как MCS управления, его работа основана на модуляции одной несущей (SC).
- b) MCS1 – MCS12.6 и MCS25 – MCS31: набор SC MCS.
- c) MCS13 – MCS24: набор OFDM MCS (OFDM – ортогональное частотное разделение).

В связи с этим в стандарте IEEE 802.11-2016 определены следующие правила CCA, применительно к каждому набору MCS:

- a) MCS управления: При начале передачи действительного MCS управления с уровнем приема больше минимальной чувствительности для MCS управления (–78 дБм) CCA покажет состояние занятости с вероятностью > 90% в течение 3 мкс.
- b) Набор SC MCS: При начале передачи действительного SC MCS с уровнем приема больше минимальной чувствительности для MCS1 (–68 дБм) CCA покажет состояние занятости с вероятностью > 90% в течение 1 мкс. Приемник будет удерживать сигнал контроля несущей в состоянии занятости при любом сигнале, превышающем минимальную чувствительность для MCS1 на 20 дБ.
- c) Набор OFDM MCS: При начале передачи действительного OFDM MCS или SC MCS с уровнем приема больше минимальной чувствительности для MCS13 (–66 дБм) CCA покажет состояние занятости с вероятностью > 90% в течение 1 мкс.

3 Стандарты беспроводных сетей с пропускной способностью несколько гигабит/с (MGWS)

Ниже приводится список стандартов, которые касаются спецификаций MGWS:

- 1) Стандарт IEEE 802.11-2016, Стандарт IEEE для информационных технологий – Электросвязь и обмен информацией между системами – Локальная и городская сети – Конкретные требования – Часть 11: Спецификации уровня управления доступом к среде передачи данных (MAC) и физического уровня (PHY) в беспроводной локальной сети, декабрь 2016 г.
- 2) Стандарт IEEE 802.15.3™-2016, Стандарт IEEE для беспроводных мультимедийных сетей с высокой скоростью передачи данных.
- 3) Стандарт IEEE 802.15.3e™-2017, Поправка к Стандарту IEEE для беспроводных мультимедийных сетей с высокой скоростью передачи данных: высокоскоростная связь между двумя пунктами, расположенными в непосредственной близости друг от друга.
- 4) ETSI EN 302 567 v2.1.1 (2017-07), Оборудование радиосвязи с пропускной способностью в несколько гигабит/с, работающее в диапазоне 60 ГГц; согласованный стандарт, охватывающий основные требования статьи 3.2 Директивы 2014/53/EU.
- 5) Спецификации протокола уровня адаптации (PAL) Альянса широкополосной беспроводной связи (WFA):
 - WiGig® Display Extension Technical Specification Version 2.0, март 2015 года.
 - WiGig® Bus Extension Specification v1.2, октябрь 2014 года.
 - WiGig® SD (WSD) Extension Specification v1.1, январь 2015 года.
- 6) ИСО/МЭК 13156, Информационные технологии – Электросвязь и обмен информацией между системами – Уровни PHY, MAC и PAL высокоскоростных систем в диапазоне 60 ГГц.

4 Акронимы и сокращения

CCA	Clear channel assessment	Оценка незанятости канала
CE	Consumer electronics	Бытовая электроника
HDMI	High definition multimedia interface	Мультимедийный интерфейс высокой четкости
MGWS	Multiple Gigabit Wireless Systems	Беспроводные системы с пропускной способностью несколько гигабит/с
MCS	Modulation and coding scheme	Схема модуляции и кодирования
OFDM	Orthogonal frequency division multiplexing	Ортогональное частотное разделение
PER	Packet error rate	Коэффициент ошибок по пакетам
RLAN	Radio local area network	Локальная радиосеть
SC	Single carrier	Одна несущая
TDMA	Time division multiple access	Многостанционный доступ с временным разделением
WLAN	Wireless local area network	Беспроводная локальная сеть
WPAN	Wireless personal area network	Беспроводная персональная сеть
