

БЕСПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ОСВАИВАЮТ ЧЕТЫРЕХМИЛЛИМЕТРОВЫЙ ДИАПАЗОН

Несмотря на то, что миллиметровый диапазон уже давно привлекает внимание разработчиков аппаратуры связи, его практическое использование до последнего времени ограничивалось частотами не более 40 ГГц. 30 лет назад Международный союз по телекоммуникациям (International Telecommunication Union – ITU) на международной конференции WRC-79 принял решение об использовании частотных полос 71–76 и 81–86 ГГц для оказания услуг фиксированной связи. Однако интерес к их коммерческому использованию появился только в конце 1990-х годов, после того как Федеральная комиссия по связи США (FCC) опубликовала доклад с подробным описанием возможностей систем, работающих на таких частотах. Выделенные частотные полосы хорошо подходят, в частности, для систем, которые должны функционировать при любой погоде, а также для систем прямой связи на небольших расстояниях. Сейчас сводные полосы частот 71–76 и 81–86 ГГц, известные как частоты E-диапазона, разрешены для систем прямой связи со сверхбольшой пропускной способностью [1].

Практическому освоению E-диапазона в системах беспроводной связи способствовали следующие обстоятельства:

- появление коммерческих электронных компонентов миллиметрового диапазона с приемлемыми параметрами и стоимостью;
- частотная перегрузка наиболее активно используемого СВЧ-диапазона (6–38 ГГц) и необходимость поиска альтернативных частотных диапазонов;
- разработка нового поколения мультимедийных систем связи со сверхвысокими скоростями передачи информации.

После принятия в 2005 году Федеральной комиссией по связи США ряда регламентирующих документов и введения облегченной схемы лицензирования появились первые радиосистемы E-диапазона. Европейские регулирующие организации беспроводной связи быстро последовали за США, и в 2005

И.Викулов, к.т.н.,
член Европейской СВЧ-ассоциации

году Европейская конференция администраций почт и телекоммуникаций (CEPT) приняла план освоения частотных диапазонов, аналогичный американскому. В 2006 году Европейский институт стандартизации в области телекоммуникаций (ETSI) опубликовал технические правила, касающиеся аппаратуры, работающей на частотах 71–76 и 81–86 ГГц. Эти правила соответствовали требованиям ЕС и разрешали коммерческое использование в Европе беспроводной аппаратуры E-диапазона. Сейчас многие страны осваивают E-диапазон с целью создания беспроводных систем связи типа "точка-точка", работающих в коротковолновой части миллиметрового диапазона.

ЧАСТОТНЫЙ СОСТАВ E-ДИАПАЗОНА

E-диапазон состоит из двух частотных полос 71–76 и 81–86 ГГц (рис.1). Такое распределение частот имеет свои достоинства. Во-первых, суммарный спектр, равный 10 ГГц, значительно больше любого другого спектра частот, используемого сейчас для связи. Он в 50 раз больше спектра всех видов сотовой связи, принятого в США, и значительно превышает все СВЧ-диапазоны. Такой большой охват частот способен обеспечить работу целого поколения новых систем беспроводной связи.

Во-вторых, распределение частот E-диапазона, включающее два канала по 5 ГГц, дальше не дробится, как в случае более низкочастотных СВЧ-диапазонов. К примеру, в США Федеральная комиссия по связи делит каждый частотный диапазон с общей несущей на отдельные каналы с полосой не более 50 МГц. Такая ширина канала, в конечном счете, огра-

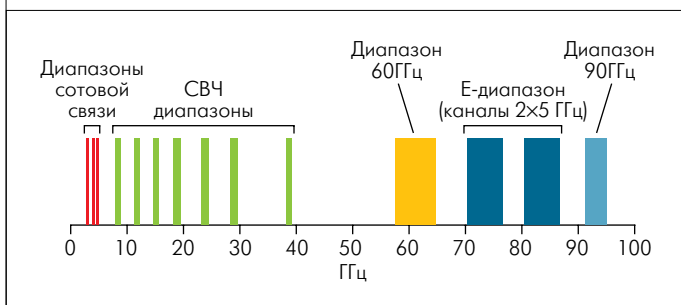


Рис. 1. Основные частотные диапазоны беспроводной связи (США)

ничивает объем данных, которые он способен пропустить. Е-диапазон достаточен для передачи данных с высокой скоростью (1 Гбит/с) с применением простейших схем модуляции, например двоичной фазовой манипуляции (BPSK). При более сложных схемах модуляции скорость передачи в полнодуплексном режиме может достигать 10 Гбит/с.

Поскольку, в отличие от передачи данных по узкому каналу, необходимость сжатия данных отсутствует, вся архитектура системы может быть относительно простой. Она может быть построена с использованием модемов с модуляцией низкого порядка, нелинейных усилителей мощности, приемников с прямым преобразованием и многих других несложных компонентов. Это позволяет снизить стоимость системы, не ухудшая ее надежность и параметры.

ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН Е-ДИАПАЗОНА

Характеристики поглощения радиоволн в атмосфере в зависимости от частотного диапазона хорошо известны (рис.2). В СВЧ-диапазонах до 38 ГГц атмосферное затухание не превышает 0,3 дБ/км. За некоторым подъемом в районе 23 ГГц следует сильное затухание на 60 ГГц, обусловленное поглощением радиоволн парами воды и молекулами кислорода. На частоте 60 ГГц ослабление достигает 15 дБ/км, что существенно ограничивает дальность передачи радиоволн. На частотах выше 100 ГГц начинают сказываться другие эффекты молекулярного поглощения, ограничивающие эффективность распространения сигналов.

Относительно "чистое" окно лежит в спектре частот 70–100 ГГц. Здесь атмосферное затухание составляет ~0,5 дБ/км, что близко к значениям затухания в традиционных СВЧ-диапазонах. В результате для беспроводных систем появляется возможность передачи сигналов на расстояния до нескольких километров.

Влияние дождя. На частотах, превышающих 10 ГГц, дождь ограничивает дальность передачи (рис.3). В случае

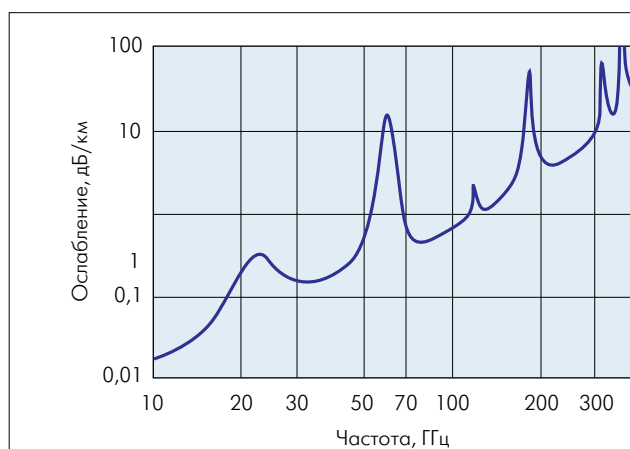


Рис.2. Характеристики поглощения радиоволн в атмосфере (на уровне моря)

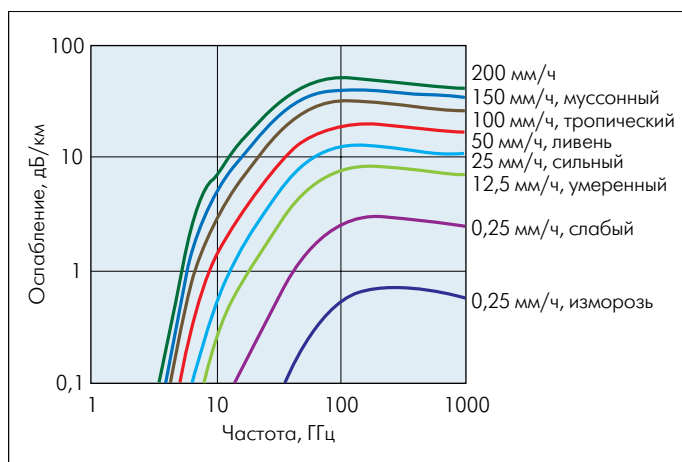


Рис.3. Затухание радиоволн, вызываемое дождем различной интенсивности

сильного дождя (интенсивность 25 мм/ч) затухание сигнала в Е-диапазоне достигает 10 дБ/км. Международным союзом по телекоммуникациям ИТУ на основании многолетних наблюдений составлены карты однотипных зон выпадения осадков в различных районах мира. Эти карты помогают проектировщикам при установке систем связи в различных регионах мира учитывать интенсивность и годовую норму осадков в них. На рис.4 представлена такая карта, охватывающая тер-



Рис.4. Климатические зоны различных регионов Европы, Среднего Востока и Африки

риторию Европы, Среднего Востока и Африки.

Влияние тумана и облачности. Одно из достоинств беспроводной связи на частотах Е-диапазона – слабая зависимость от тумана и облачности. При плотности густого тумана около $0,1 \text{ г/м}^3$ с видимостью 50 м ослабление сигнала составляет всего лишь 0,4 дБ/км. Такое малое затухание объясняется тем, что размеры частиц тумана значительно меньше длины волны распространяемого сигнала, равной ~4 мм, и в результате они не вызывают сильного рассеяния радиоволн. Противоположная ситуация возникает при высокоскоростной оптической передаче информации в свободном пространстве, которая может рассматриваться как альтернатива беспроводной связи в Е-диапазоне. Затухание сигнала при оптической передаче в условиях сильного тумана может достигать 200 дБ/км.

Влияние пыли, песка и других мелких частиц. Размеры таких частиц также существенно меньше 4 мм, и они практически "невидимы" для беспроводных систем Е-диапазона.

ДРУГИЕ ДОСТОИНСТВА СИСТЕМ СВЯЗИ Е-ДИАПАЗОНА

Существуют и другие достоинства работы в Е-диапазоне, привлекательные с точки зрения использования этого участка спектра для беспроводной связи. Поскольку усиление антенны растет с увеличением частоты, появляется возможность реализовать антенну относительно небольших размеров (30 см) с высоким усилением (рис.5). В распространенном диапазоне частот 18 ГГц усиление антенны такого размера составляет 32,5 дБ. Для получения в диапазоне 18 ГГц аналогичного усиления антенны, как и в Е-диапазоне (44–45 дБ), придется увеличить ее диаметр до 120 см.

В системах Е-диапазона комиссия FCC США установила разрешенный уровень выходной мощности до 3 Вт. Это значительно больше, чем для других диапазонов миллиметровых волн. К примеру, в диапазоне 60 ГГц разрешенный уровень мощности равен 10 мВт.

Каналы Е-диапазона с полосой 5 ГГц допускают высокоскоростную передачу данных с использованием схем модуляции низкого уровня. Так, схемы с частотной манипуляци-

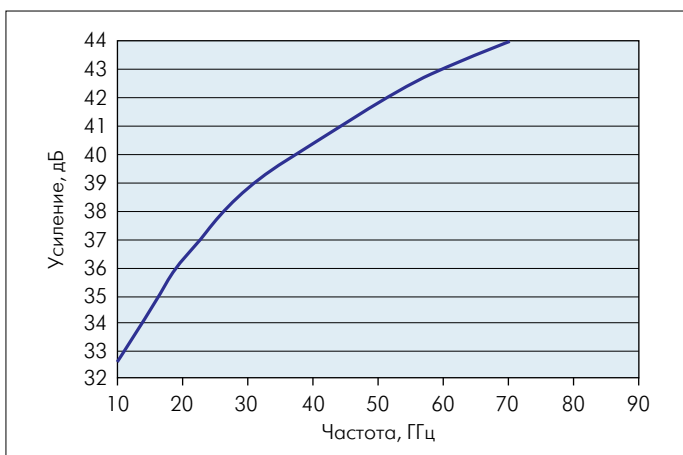


Рис.5. Коэффициент усиления параболической антенны диаметром 30 см



Рис.6. Радиосистема MMW 125 Е-диапазона компании ADC Telecommunications

ей (FSK) или двоичной фазовой манипуляцией легко обеспечивают передачу данных со скоростью до 2 Гбит/с. Поскольку простые схемы модуляции не накладывают дополнительных требований на линейность, то усилители мощности передатчика могут работать в режиме максимальной выходной мощности. А большая выходная мощность наряду с высоким коэффициентом усиления антенны обеспечивает высокую излучаемую мощность, что позволяет компенсировать возможные потери передачи и делает системы Е-диапазона сравнимыми по характеристикам с СВЧ-системами связи "точка-точка".

ВЫХОД НА РЫНОК РАДИОСИСТЕМ Е-ДИАПАЗОНА

Коммерческая система беспроводной связи Е-диапазона уже создана компанией ADC Telecommunications (США) (рис.6). Работоспособность систем была исследована в регионах с различными климатическими условиями. В городах с умеренно влажным климатом (зона К, см. рисунок 4) дальность действия линии связи достигала 3 км, а в городах с сухим климатом (зона С) – до 16 км.

Беспроводная аппаратура Е-диапазона позволяет поддерживать высокоскоростную связь в стандарте Ethernet между удаленными локальными сетями, связь базовых станций мобильных систем связи стандартов GSM и Wi-Fi, обеспечивать перенос данных Интернета из центральной линии в новую точку доступа и т.п.

Россия также включилась в освоение Е-диапазона. Недавно компания ELVA-1 Millimeter Wave Division получила от Министерства связи и массовых коммуникаций РФ сертификат соответствия, позволяющий ей продавать через свое представительство в Санкт-Петербурге системы беспроводной цифровой связи PPC-80/70 и PPC-95/92, действующие в диапазонах 71–76 ГГц, 81–86 ГГц и 92–95 ГГц [2]. ELVA-1 была основана в 1993 году со штаб-квартирой в Риге (Латвия). В ее штате 25 сотрудников. В продаваемую компанией продукцию входят такие СВЧ-приборы, как лампы об-

ратной волны миллиметрового диапазона, генераторы на ЛПД и диодах Ганна, ферритовые и волноводные элементы и др. [3]. Полученный компанией сертификат соответствия, подтвержденный правительственными организациями США (FCC), Европы (ECC) и России (МСМК) укрепляет ее позиции на рынке беспроводных радиосистем связи сверхвысокой пропускной способности, работающих в коротковолновых участках спектра миллиметрового диапазона.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Verluis F.** Millimetre wave radio technology. – Microwave Engineering Europe, Nov. 2008.
2. **Mumford R.** Conformity for ELVA-1 in Russia.– Microwave Journal, 2008, v.51, №5.
3. Сайт компании ELVA-1 Millimeter Wave Division, www.elva-1.com