|  |  |
| --- | --- |
| **Ассамблея радиосвязи (АР-15)****Женева, 26–30 октября 2015 г.** |  |
| **МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ** |  |
|  |  |
| **ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ** | **Дополнительный документ 3 к Документу RA15/PLEN/34-R** |
| **13 октября 2015 г.** |
| **Оригинал: английский** |
| СЕПТ – Европейская конференция администраций почт и электросвязи |
| ПРОЕКТ НОВОГО ВОПРОСА МСЭ-R [EUR/VISIBLE LIGHT] |
| Исследование характеристик связи на основе волн видимого света (оптической связи) применительно к широкополосной связи |
|  |

# 1 Введение

Пункт 78 Статьи 12 Устава МСЭ гласит, что функции Сектора радиосвязи включают "...проведение исследований без ограничения диапазона частот и принятие рекомендаций по вопросам радиосвязи".

Развитие технологий, в особенности цифровых – непрерывный процесс, который в числе прочего создает условия для появления новых видов связи. В частности, оптическая связь может открыть дополнительные возможности для удовлетворения растущего спроса на услуги передачи данных.

В последнее время эта тема привлекает к себе все больший интерес не только в научном сообществе (например, в университетах), но и со стороны ряда компаний. Первоочередная цель состоит в том, чтобы исследовать условия, при которых оптическая связь в помещениях и на относительно коротких расстояниях может способствовать удовлетворению растущего спроса на широкополосную передачу данных.

Оптическая связь – не новый вопрос для МСЭ, и по итогам проведенных ранее исследований было выпущено несколько Рекомендаций и Отчетов, посвященных различным применениям оптических каналов связи. На данный момент не представлено данных, которые бы свидетельствовали о том, что помехи между оптическими системами представляют собой проблему.

В разработанной внутри МСЭ‑R документации по этому вопросу до сих пор не употребляется термин "оптическая связь", так как ранее не удалось прийти к согласованному определению "оптического излучения". В одних сообществах под оптическим излучением подразумевается видимое излучение, в других – совокупность видимого и ближней части инфракрасного диапазона. Предпринимались попытки ввести новые термины, такие как "фотосвязь" или "фотонная связь", но и эти дебаты не привели к выработке общего понимания. Как следствие, в отношении оптических технологий сейчас употребляется несколько терминов из области радиосвязи. Поэтому в Рекомендациях речь ведется о частотах около 283 ТГц.

К настоящему документу прилагается сводка проведенных на сегодняшний день технических и эксплуатационных исследований и Рекомендаций МСЭ‑R по рассматриваемому вопросу (Приложение 1), а также обзор документации, разработанной внутри МСЭ‑R (Приложение 2).

# 2 Предшествующие исследования по тематике оптических каналов связи в свободном пространстве

Ранее был проведен ряд исследований на основании Резолюции ВКР‑07, которая касалась систем дальней оптической связи в свободном пространстве, работающих в направлениях Земля-космос, космос-Земля и космос-космос.

Целью этих исследований было определить, есть ли необходимость в уточнении Регламента радиосвязи, поскольку участок спектра, занимаемый этими каналами связи, находится за пределами ныне действующей таблицы частот Статьи 5 РР. Резолюция ВКР‑07 призывала к проведению исследований по таким вопросам, как аспекты совместного использования частот с другими службами, четкое определение пределов полос и меры, требующие рассмотрения, если распределения различным службам выше 3000 ГГц в Регламенте радиосвязи будут признаны осуществимыми. По итогам ряда проведенных исследований на ВКР‑12 было сделано заключение, что рассматриваемые применения не требуют изменений в Регламенте радиосвязи.

# 3 Текущая ситуация

Недавно была продемонстрирована возможность достижения скоростей передачи данных свыше 10 Гбит/с по каналам связи на основе волн видимого света (VLC) с использованием светоизлучающих диодов (светодиодов). Лазерные диоды можно рассматривать как еще более перспективный вариант, позволяющий полнее использовать спектр видимого излучения для нужд связи. В этой работе исследуются возможности применения серийно выпускаемых лазерных светодиодов в области связи в ряде сценариев с ограничениями на освещенность. Результаты показывают, что достижимая скорость передачи данных по беспроводному оптическому каналу доступа при типичных уровнях освещенности в помещениях превышает 100 Гбит/с.

# 4 Предложение

Европа отмечает, что "оптическая связь" ведется в нерегулируемой части радиочастотного спектра и поэтому не требует распределения частот в Регламенте радиосвязи. Кроме того, Европа отмечает, что новые возможности широкополосной связи требуют дальнейшего исследования в рамках МСЭ, и поэтому предлагает Ассамблее радиосвязи принять новый Вопрос МСЭ‑R об исследовании характеристик связи на основе волн видимого света (оптической связи) применительно к широкополосной связи.

ПРОЕКТ НОВОГО ВОПРОСА МСЭ‑R [EUR/VISIBLE LIGHT]

Характеристики, относящиеся к использованию видимого излучения для широкополосной связи

(2015 г.)

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

*a)* что развитие технологий – непрерывный процесс, который в числе прочего создает условия для появления новых способов использования спектра;

*b)* что использование видимого излучения для нужд связи в настоящее время вновь стало предметом повышенного внимания;

*c)* что связь на основе волн видимого света ведется в нерегулируемой части радиочастотного спектра и поэтому не требует распределения частот в Регламенте радиосвязи;

*d)* что возможности широкополосной связи на основе волн видимого света требуют дальнейшего исследования в рамках МСЭ,

решает,

что следует исследовать следующие Вопросы:

1 Каковы характерные особенности применения волн видимого света для широкополосной связи и каков при этом выигрыш в эффективности в контексте использования спектра?

2 Какие общие задачи должно решать развитие ближней широкополосной связи в видимой области спектра и какие потребности пользователей оно призвано удовлетворить?

3 Какие новые применения возможны в связи с использованием видимого излучения для широкополосной связи?

4 Какие технические и эксплуатационные характеристики необходимы для дальнейшего развития связи на основе волн видимого света?

5 Какие знания можно почерпнуть применительно к оптической связи из других областей, например космической и спутниковой связи?

решает далее,

1 что результаты указанных выше исследований должны быть включены в одну или несколько Рекомендаций и/или Отчетов;

2 что указанные выше исследования должны быть завершены к 2019 году.

Приложение 1

Анализ результатов исследований, проведенных в рамках МСЭ[[1]](#footnote-1)1

Ниже приводится краткое изложение соответствующих заключений, вытекающих из завершившихся исследований.

На качество функционирования земных станций, работающих со спутниками на частотах выше 30 ТГц, большое влияние оказывает атмосфера. Факторы, влияющие на распространение, включают поглощение в атмосфере, рэлеевское рассеяние и рассеяние Ми, рефракцию и турбулентность. Чтобы по возможности избежать потерь в атмосфере, выбирается оптимальное место расположения земной станции, как правило, на большой высоте, не менее 2 км над уровнем моря. К тому же трудно поддерживать оптическую связь с земными станциями, работающими с углом места менее 40° вследствие атмосферного влияния при более малых углах.

Поглощение в атмосфере, рассеяние и турбулентность также являются существенными факторами, которые необходимо учитывать в наземных системах оптической связи, работающих в свободном пространстве. Эти системы могут также функционировать при некотором ухудшении качества работы в условиях тумана, дождя и снега.

Все системы оптической связи в свободном пространстве, функционирующие в направлениях Земля‑космос, космос-Земля и космос-космос представлены для примера очень узкими лучами. Наибольшие области видимости используются между космическими кораблями, находящимися на НГСО в режиме обнаружения, однако они по-прежнему не превышают 700 микрорадиан (0,04°). Их область видимости при обычной связи обычно уменьшается до порядка 10 микрорадиан (0,0006°). При анализе помех нежелательную энергию, полученную на боковых лепестках диаграммы направленности приемной антенны, можно не принимать во внимание. Типичная ширина луча также составляет порядка 10 микрорадиан.

В будущем оптические линии связи в свободном пространстве точно также как и волоконно‑оптические линии широкополосной беспроводной связи, станут одной из перспективных систем для сетей передачи из пункта в пункт в пределах прямой видимости. Для наземных применений расхождение луча передаваемого сигнала и область видимости приемника обычно составляют несколько миллирадиан или даже еще меньше. Однако в случае первичного обнаружения целевого оконечного устройства часто используется для наземных применений комбинация мощного радиомаяка с большим расхождением луча и высокочувствительным датчиком системы обнаружения с большой областью видимости, например, датчиком изображения CCD (прибор с зарядовой связью). Наземные оптические линии связи в свободном пространстве могут быть развернуты в любое время и в любом месте. Это основывается на допущении о том, что для исключения помех между такими линиями, эксплуатируемыми различными операторами, координация не требуется. Теоретически помеха между оптическими линиями связи в свободном пространстве может возникнуть. Однако эта помеха никогда не окажет вредного воздействия, если две линии не будут функционировать в достаточно ограниченной географической среде.

В мире имеется большое количество телескопов с возможностями осуществления астрономических наблюдений в ТГц полосах частот, и это количество увеличивается. Хотя узость "лучей антенн" индивидуальна, так что вероятность соединения луча-с-лучом невысока, большинство из этих телескопов являются формирователями изображений со множеством элементов изображения в фокусе, совместно "наблюдающими" за небольшим участком неба, который может составлять значительную долю градуса. Поскольку телескопы, осуществляющие наблюдение на частотах выше 100 ТГц, располагаются в изолированных, высотных местах, то в мире найдется немного таких подходящих мест, которые к тому же, как правило, находятся вдали от крупных населенных пунктов (возможным исключением является Мауна-Кеа, США). Поэтому можно избежать передачи в направлении таких мест. Если пространственное разнесение достаточно большое, окна малого затухания в атмосфере могут использоваться активными и пассивными службами.

Устройства активного и пассивного зондирования, использующие спектр в полосе выше 3000 ГГц, обладают самыми различными техническими и эксплуатационными характеристиками, по сравнению с любой изученной технологией, с чувствительностью и областью видимости, отличающимися на порядки. Активные датчики существуют в виде лазерных дальномеров (LIDAR), используемых применениями типа ССИЗ (активная) и наземной вспомогательной службой метеорологии. Ширина лучей и области видимости приемников наземных применений шире у активных датчиков космического базирования, однако они составляют, как правило, не более нескольких миллирадиан. Системы наземной вспомогательной службы метеорологии также производят активные измерения путем передачи пульсирующих сигналов из фиксированного источника. Атмосферные условия определяются путем анализа характеристик сигнала, получаемого на другом конце трассы. Для сведения к минимуму влияния энергии от других источников на приемниках этих типов систем устанавливаются фильтры ЭМП (электромагнитных помех).

Пассивные системы ССИЗ осуществляют сбор информации о характеристиках Земли и ее природных явлениях, в том числе данных, касающихся состояния окружающей среды. Приборы, работающие на частоте выше 3000 ГГц, могут присутствовать приблизительно на половине из всех космических кораблей ССИЗ. В обозримом будущем планируется ежегодно выпускать от одной до трех новых систем ССИЗ, использующих спектр на частоте выше 3000 ГГц, в настоящее же время на космических челноках и международной космической станции временно разворачиваются дополнительные приборы. Большинство систем ССИЗ используют негеостационарные орбиты, причем значительная часть этих систем работают на солнечно-синхронных орбитах. Каждая система ССИЗ обладает уникальными техническими характеристиками и связанными с их задачами требованиями, которые оказывают прямое влияние на чувствительность приборов. Требования, предъявляемые к чувствительности, также будут изменяться в зависимости от солнечного освещения, объекта измерения и даже возраста прибора. Что касается устройств пассивной службы метеорологии, то они проводят такие измерения, как определение солнечного освещения и яркости небесного фона. И те и другие используют датчики, которые могут подвергаться воздействию солнечного света.

Итак, поскольку передатчики, используемые в линиях связи, работающих в свободном пространстве на частотах в ближней части инфракрасного диапазона, имеют крайне узкую ширину луча, то наземные передатчики могут создавать помехи только на очень коротких расстояниях, случаи наземных помех будут встречаться очень редко и могут быть легко устранены на местном уровне. Кроме того, помеха между линиями межспутниковой связи также будет редкой, ввиду направленной и узкой ширины луча и обширной геометрии пространства.

До настоящего времени никаких подтверждений того, что помеха между оптическими системами в свободном пространстве создает проблему, получено не было. Существующие Рекомендации и Отчеты МСЭ‑R достаточно освещают вопросы оптических линий связи в свободном пространстве. К тому же никаких возможных процедур, касающихся оптических линий связи в свободном пространстве, определено не было.

Приложение 2

Резюме технических и эксплуатационных исследований, а также соответствующих Рекомендаций МСЭ‑R

МСЭ‑R P.1621 – Данные о распространении радиоволн, требующиеся для разработки систем связи Земля-космос, работающих в диапазоне 20–375 ТГц

Эта Рекомендация содержит данные о распространении радиоволн, касающиеся возможного использования спектра в диапазоне от 20 до 375 ТГц для связи в околоземном пространстве и дальнем космосе.

Она рекомендует принять методы прогнозирования параметров распространения, приведенные в Приложении к этой Рекомендации, для планирования систем связи Земля-космос в соответствующих диапазонах их работоспособности, указанных в Приложении.

МСЭ‑R P.1622 – Методы прогнозирования, требующиеся для разработки систем связи Земля‑космос, работающих в диапазоне 20–375 ТГц

Эта Рекомендация содержит методы прогнозирования, требуемые для надлежащего планирования систем связи Земля-космос, работающих в диапазоне от 20 до 375 ТГц, применительно к определенным видам космической связи в околоземном пространстве и глубоком космосе.

Она рекомендует использовать методы прогнозирования параметров распространения, приведенные в Приложении к этой Рекомендации, для планирования систем связи Земля-космос в соответствующих диапазонах их работоспособности, указанных в Приложениях к этой же Рекомендации.

МСЭ-R S.1590 – Технические и эксплуатационные характеристики спутников, работающих в диапазоне 20–375 ТГц

Эта рекомендация содержит информацию о технических и эксплуатационных характеристиках спутников, работающих в диапазоне 20–375 ТГц.

Она рекомендует при проведении исследований совместного использования частот спутниками, работающими в диапазоне 20–375 ТГц, учитывать технические и эксплуатационные параметры, представленные в Приложении к этой Рекомендации.

МСЭ-R RA.1630 – Технические и эксплуатационные характеристики астрономических систем наземного базирования, предназначенных для применения в исследованиях условий совместного использования полос частот от 10 ТГц до 1000 ТГц с активными службами

Эта Рекомендация содержит информацию о технических и эксплуатационных характеристиках астрономических станций наземного базирования, предназначенных для использования в исследованиях совместного использования частот с активными службами в диапазоне 10–1000 ТГц.

Она рекомендует астрономам принимать во внимание возможность помех, создаваемых передатчиками, работающими в диапазоне 10–1000 ТГц, при выборе мест для наблюдений и при проектировании аппаратуры. Кроме того, она рекомендует астрономам предоставлять в соответствующие Исследовательские комиссии МСЭ‑R информацию о последних технических достижениях в области наземных астрономических наблюдений в указанных диапазонах, а также учитывать эксплуатационные характеристики, приведенные в Приложениях к этой Рекомендации, в исследованиях помех астрономическим системам, работающим в указанных диапазонах.

МСЭ-R SA.1742 – Технические и эксплуатационные характеристики межпланетных систем и систем для исследования дальнего космоса, работающих в направлении космос-Земля на частотах около 283 ТГц

В этой Рекомендации представлены технические параметры (частоты, характеристики каналов, сигналов и данных, параметры антенны и т. д.) и эксплуатационные характеристики межпланетных систем и систем исследования дальнего космоса, работающих в направлении космос-Земля на частотах около 283 ТГц, рекомендуемые для применения в исследованиях совместного использования частот.

МСЭ-R SA.1805 – Технические и эксплуатационные характеристики систем электросвязи, работающих в направлении космос-космос на частотах около 354 ТГц и 366 ТГц

В этой Рекомендации определяются технические параметры (частоты, направления линий, характеристики сигналов и данных, параметры антенн и т. д.) и эксплуатационные характеристики систем электросвязи, работающих в направлении космос-космос на частотах около 354 и 366 ТГц, рекомендуемые для применения в исследованиях совместного использования частот.

МСЭ-R SA.1744 – Технические и эксплуатационные характеристики наземных метеорологических вспомогательных систем, работающих в диапазоне частот
272–750 ТГц

В этой Рекомендации предоставлены эксплуатационные и технические характеристики типичных метеорологических вспомогательных систем, работающих в оптическом диапазоне частот 272−750 ТГц.

Она рекомендует операторам метеорологических вспомогательных систем, работающих в оптическом диапазоне частот, принимать во внимание возможность помех от других оптических передатчиков при выборе мест для наблюдений и при проектировании датчиков. Кроме того, она рекомендует в исследованиях помех, влияющих на оптические метеорологические вспомогательные системы и производимых ими, принимать во внимание технические и эксплуатационные характеристики, приведенные в Приложении к этой Рекомендации.

Другие соответствующие Рекомендации и Отчеты МСЭ‑R: Рекомендации МСЭ‑R P.1814, МСЭ‑R P.1817 и МСЭ‑R RS.1804, а также Отчеты МСЭ‑R F.2106 и МСЭ‑R RA.2163

Можно заключить, что эти исследования не касаются использования оптического излучения для широкополосной связи.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. 1 Источник: Отчет ПСК по пункту 1.6 повестки дня ВКР‑12; указанный пункт, в частности, предписывал "рассмотреть возможные процедуры для оптических линий в свободном пространстве с учетом результатов исследований МСЭ‑R в соответствии с Резолюцией 955 (ВКР‑07)". [↑](#footnote-ref-1)