



Департамент космических служб

ПРЕДЕЛЫ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА МОЩНОСТИ (Э.П.П.М.)

1 Введение

Резолюция **85 (ВКР-03)** касается применения Статьи 22 Регламента радиосвязи для обеспечения защиты геостационарных сетей фиксированной спутниковой службы и радиовещательной спутниковой службы от негеостационарных систем фиксированной спутниковой службы.

Резолюция **85 (ВКР-03)** требует, чтобы Бюро изучало:

- a) соответствуют ли частотные присвоения спутниковым системам НГСО ФСС пределам э.п.п.м., содержащимся в Таблицах **22-1A**, **22-1B**, **22-1C**, **22-1D**, **22-1E**, **22-2** и **22-3** Статьи **22** РР;
- b) требуется ли в отношении частотных присвоений конкретным крупным земным станциям (при определенных условиях) координация согласно п. **9.7A** РР касательно каких-либо существующих спутниковых систем НГСО, использующих пороговые значения, при которых начинается процедура координации, предусмотренные в Приложении 5 к РР; или
- c) требуется ли в отношении частотных присвоений спутниковым системам НГСО ФСС координация согласно п. **9.7B** РР касательно каких-либо крупных земных станций (при определенных условиях), использующих пороговые значения, при которых начинается процедура координации, предусмотренные в Приложении 5 к РР.

Применение этих положений основывается на проверке э.п.п.м., произведенной спутниковыми системами НГСО.

В настоящем документе содержится базовая информация о применении пределов э.п.п.м. с акцентом на регламентарные ситуации, связанные с совместным использованием частот системами НГСО ФСС и ГСО ФСС/РСС.

2 Негеостационарные спутниковые системы

Негеостационарные (НГСО) спутниковые системы идеально подходят для обеспечения связи в режиме реального времени с глобальным покрытием. Системы НГСО фиксированной спутниковой службы (ФСС) обычно предоставляют услуги высокоскоростной широкополосной связи, включающие интернет-соединения, пользователям в домах и учреждениях во всем мире, в том числе в местах, которые невозможно охватить с помощью геостационарных спутников. Типичная спутниковая система НГСО состоит из одной или нескольких космических станций, расположенных на околоземной или средневысотной околоземной орбите, и шлюзовых станций. Шлюзы подключаются к наземным сетям, чтобы предоставить каждому пользователю доступ к частным сетям или сетям общего пользования.

Ввиду нехватки подходящих частот и в целях эффективного использования существующей инфраструктуры, системы НГСО ФСС используют радиочастотный спектр совместно с системами ГСО ФСС и ГСО радиовещательной спутниковой службы (РСС). Чтобы оптимизировать использование имеющегося спектра, требуются регламентарные положения, такие как пределы э.п.п.м., предусмотренные в Статье 22, способствующие совместному использованию частот системами НГСО ФСС и ГСО ФСС.

В настоящее время в Бюро для координации и заявления представлено большое число систем НГСО. Все эти системы характеризуются разной геометрией орбиты и различными параметрами группировки.

Большинство систем состоят из значительного количества спутников – от десятков до нескольких тысяч. Даже в пределах одной спутниковой системы несколько спутников могут осуществлять одновременную передачу в направлении конкретного географического района. Эта ситуация ведет к требованию учета, при расчете помех от сетей НГСО другим фиксированным станциям на земле или ГСО, того что:

- мы заранее не располагаем информацией о местонахождении станций, создающих помехи;
- ввиду постоянного движения источника помех по отношению к фиксированной приемной станции должны учитываться статистические свойства помех;
- может существовать несколько создающих помехи станций, осуществляющих одновременную передачу, что повышает, тем самым, суммарный уровень помех.

Эти факторы диктуют необходимость поиска надлежащих критериев измерения помех от станций НГСО ФСС станциям ГСО ФСС.

3 Что такое э.п.п.м.?

Понятие э.п.п.м. было принято на ВКР-97, для того чтобы облегчить внедрение систем НГСО в фиксированной спутниковой службе в некоторых диапазонах Ку и Ка, используемых совместно с ГСО ФСС.

ВКР-97 приняла "жесткие" пределы (которые никогда не должны превышаться) для излучений от систем НГСО и определила их не так, как плотность потока мощности (п.п.м.). Определение ВКР-97 эквивалентной плотности потока мощности (э.п.п.м.) учитывает суммарные излучения от всех спутников НГСО в направлении любой земной станции ГСО, принимая во внимание направленность антенны системы НГСО. Такие жесткие пределы позволяют системам НГСО ФСС использовать частоты совместно и обеспечить защиту систем ГСО, не требуя индивидуальной координации со всеми системами на глобальном уровне.

Статья 22 РР определяет э.п.п.м. следующим образом:

22.5C.1 Эквивалентная плотность потока мощности определяется как сумма плотностей потоков мощности, создаваемых на какой-либо приемлемой станции геостационарной спутниковой системы на поверхности Земли или на геостационарной орбите, в зависимости от случая, всеми передающими станциями негеостационарной спутниковой системы, с учетом внеосевой избирательности эталонной приемной антенны, которая, как предполагается, наведена в номинальном направлении. Эквивалентная плотность потока мощности вычисляется по следующей формуле:

$$epfd = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^{N_a} 10^{\frac{P_i}{10}} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{4 \pi d_i^2} \cdot \frac{G_r(\phi_i)}{G_{r,max}} \right],$$

где:

- N_a : число передающих станций негеостационарной спутниковой системы, видимых с данной приемной станции геостационарной спутниковой системы или на геостационарной орбите, соответственно;
- i : индекс рассматриваемой передающей станции негеостационарной спутниковой системы;
- P_i : ВЧ мощность на входе антенны рассматриваемой передающей станции негеостационарной спутниковой системы в эталонной ширине полосы, дБВт;

- θ_i : внесевой угол между направлением прицеливания рассматриваемой передающей станции негеостационарной спутниковой системы и направлением на приемную станцию геостационарной спутниковой системы;
- $G_t(\theta_i)$: усиление (как отношение) передающей антенны рассматриваемой станции спутниковой системы в направлении приемной станции геостационарной спутниковой системы;
- d_i : расстояние между рассматриваемой передающей станцией негеостационарной спутниковой системы и приемной станцией геостационарной спутниковой системы, в метрах;
- φ_i : внесевой угол между направлением прицеливания антенны приемной станции геостационарной спутниковой системы и направлением i -й рассматриваемой передающей станции в системе НГСО;
- $G_r(\varphi_i)$: усиление (как отношение) приемной антенны приемной станции геостационарной спутниковой системы в направлении i -й рассматриваемой передающей станции негеостационарной спутниковой системы;
- $G_{r, max}$: максимальное усиление (как отношение) антенны приемной станции геостационарной спутниковой системы;
- $epfd$: вычисленная эквивалентная плотность потока мощности в эталонной ширине полосы (дБ(Вт/м²)). (ВКР-2000)

РИСУНОК 1

Геометрия расчета э.п.п.м. на линии вниз

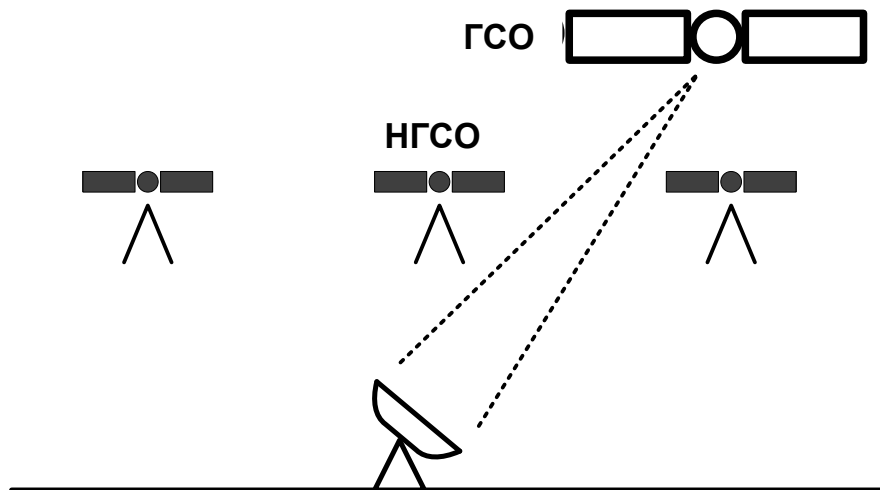


РИСУНОК 2

Геометрия расчета э.п.п.м. для линии вверх

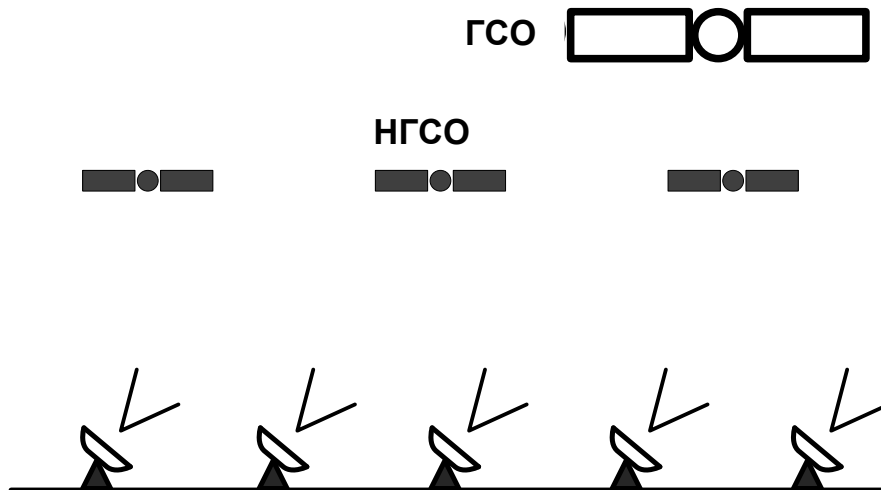
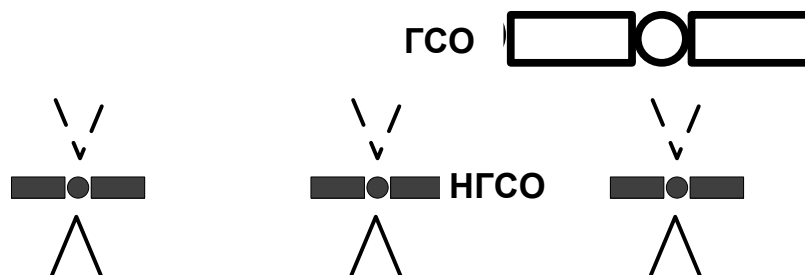


РИСУНОК 3

Геометрия расчета э.п.п.м. для межспутниковой трассы



Э.п.п.м., как и п.п.м., рассчитывается на приемной антенне, однако в отличие от п.п.м., э.п.п.м. учитывает ориентацию антенны по отношению к каждому источнику помех.

То есть если антенна принимает мощность в пределах ее эталонной ширины полосы одновременно от передающих станций на различных расстояниях, в различных направлениях и с различными уровнями падающей п.п.м., то э.п.п.м. эквивалентна п.п.м., которая при получении от одного передатчика в дальней зоне антенны в направлении максимального усиления создаст такую же мощность на входе приемника, как и фактически получаемую от всех различных передатчиков.

Такое понятие позволяет получить лишь очень ограниченное представление о параметрах приемных систем. В самом деле, чтобы охарактеризовать помехи для приемных систем конкретного класса требуется всего лишь знание диаграммы направленности эталонной антенны, размеров антенны и соответствующего максимального усиления антенны. То есть Статья 22 содержит маски предельных значений для целого ряда конфигураций приемных земных станций, включая размер антенны, который может колебаться от 30 см до 5 метров и до 15 метров в особом случае в полосе 3700–4200 МГц.

4 Э.п.п.м. в Регламенте радиосвязи

В настоящее время э.п.п.м. широко используется в Регламенте радиосвязи в нижеследующих случаях.

- 1) Жесткие пределы э.п.п.м. для спутниковых систем НГСО ФСС в целях обеспечения защиты ГСО ФСС/РСС в Статье 22.
- 2) Пределы э.п.п.м., при которых начинается процедура координации, применимые к НГСО ФСС и ГСО ФСС согласно пп. 9.7А и 9.7В РР.
- 3) Пределы э.п.п.м. для систем в различных службах радиосвязи, использующих негеостационарную орбиту для защиты радиоастрономических станций в некоторых полосах частот. См. Резолюции 739 (Пересм. ВКР-15), 741 (Пересм. ВКР-15), 743 (ВКР-03).
- 4) Защита систем воздушной радионавигационной службы от э.п.п.м., создаваемой сетями и системами радионавигационной спутниковой службы в полосе частот 1164–1215 МГц. См. Резолюцию 609 (Пересм. ВКР-07).

Вместе с тем Бюро требуется рассмотреть, соответствуют ли частотные присвоения системе НГСО пределам, предусмотренным в Статье 22 РР, только для первых двух случаев.

Поэтому ВКР-2000 просила Бюро предложить администрациям разработать программное обеспечение для проверки э.п.п.м., которое Бюро могло бы использовать для составления заключений в соответствии со Статьей 22 и пп. 9.7А и 9.7В.

5 Программное обеспечение для проверки э.п.п.м.

Методика, используемая в программном обеспечении для проверки э.п.п.м., основана на Рекомендации МСЭ-R S.1503-2. В этой Рекомендации содержится подробное описание входных данных для расчета пределов э.п.п.м. и пороговых значений, при которых начинается процедура координации, содержащихся в Статье 22 и Приложении 5 к Регламенту радиосвязи.

Эта методика достаточно сложная, и поэтому, чтобы повысить доверие к любому программному средству, Бюро сочло необходимым осуществить две независимые реализации Рекомендации МСЭ-R S.1503. Для этого двум коммерческим компаниям, занимающимся разработкой программного обеспечения, было поручено создать средства для проверки э.п.п.м. на ее соответствие Статье 22 или требованиям координации согласно пп. 9.7А и 9.7В.

В 2016 году Бюро приняло окончательный вариант этих программных средств в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R S.1503-2.

Полная информация о программном обеспечении для проверки э.п.п.м., которое Бюро будет использовать для проведения своего рассмотрения в соответствии с Резолюцией 85 (ВКР-03), размещена по адресу: <https://www.itu.int/ITU-R/go/space-epfd>.

Большая часть информации, необходимой для проведения анализа на базе программного обеспечения, содержится в базе данных СКР. Однако ввиду сложности конфигураций различных группировок спутников НГСО, трудно смоделировать точные конфигурации трафика и параметры передачи систем.

Для этой цели в Рекомендации МСЭ-R S.1503-2 установлено понятие маски для п.п.м./э.и.и.м., создаваемой мешающими станциями сетей НГСО. Эта маска учитывает все особенности организации конкретных систем НГСО.

Эти маски могут содержать очень большой объем данных. Чтобы администрации могли представить данные масок в электронном виде, а программное средство э.п.п.м. могло непосредственно использовать представленные данные, Бюро разработало формат XML для масок п.п.м. и э.и.и.м.

Программное обеспечение для проверки э.п.п.м. интегрировано в программное обеспечение GIBC БР для проведения "бесшовных" рассмотрений по аналогии с действующими рассмотрениями в модулях Приложения 8/п.п.м. программного обеспечения GIBC.

Более подробное техническое руководство содержится в Руководстве пользователя (размещено на веб-сайте по адресу: <https://www.itu.int/ITU-R/go/space-epfd>), а также в материалах, посвященных проверке э.п.п.м.

По любым техническим вопросам просьба обращаться в Бюро радиосвязи по адресу: epfd-support@itu.int.

6 Процесс проверки э.п.п.м.

В Циркулярном письме [CR/414](#) от 6 декабря 2016 года содержится подробное описание процесса рассмотрения э.п.п.м. для случаев, по которым ранее было сделано условно благоприятное заключение. Результаты рассмотрения и исходные данные, представленные для рассмотрения, размещены по адресу: <https://www.itu.int/ITU-R/go/space-epfd-data>.
