

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.1316-1*

**Принципы и методика совместного использования частот
в полосах частот 1610,6–1613,8 МГц и 1660–1660,5 МГц
для подвижной спутниковой службы (Земля-космос)
и радиоастрономической службы**

(Вопрос 201/8 МСЭ-R)

(1997-2005)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации содержатся принципы и методика, которые могут применяться для защиты радиоастрономических наблюдений от излучений сухопутных и морских подвижных земных станций в полосах частот 1610,6–1613,8 МГц и 1660–1660,5 МГц. В Приложении 1 описываются 3 шага вычислений, в Приложении 2 – расчет "территориального разноса по умолчанию", использующий метод Монте Карло, базирующийся на принципе отбора значений случайных величин. В Приложении 3 рассчитываются зоны ограничения. В Шаге 3 дается расчет зон исключения, использующий специфические характеристики рассматриваемых систем.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что Всемирная административная радиоконференция по вопросам распределения частот в определенных участках спектра (Малага-Торремолинос, 1992 г.) (ВАРК-92) распределила полосу частот 1610–1626,5 МГц на первичной основе подвижной спутниковой службе (ПСС) в направлении Земля-космос, а полосу частот 1610,6–1613,8 МГц на первичной основе радиоастрономической службе (РАС);
- b) что полоса частот 1610,6–1613,8 МГц используется радиоастрономами для наблюдения спектральных линий гидроксильных молекул вблизи 1612 МГц;
- c) что п. 5.372 Регламента радиосвязи (РР) гласит, что "станциям радиоастрономической службы в полосе частот 1610,6–1613,8 МГц не должны создаваться мешающие помехи от станций службы спутникового радиоопределения и станций подвижной спутниковой службы (применяется п. 2913)";
- d) что подвижные спутниковые системы, работающие в полосе частот 1610–1626,5 МГц, будут вероятнее всего использовать подвижные земные станции (ПЗС) с всенаправленными антеннами;
- e) что полоса частот 1660–1660,5 МГц распределена службе РАС на совместной первичной основе с сухопутной подвижной спутниковой службой (СПСС) в направлении Земля-космос;
- f) что важность распределения полосы частот 1660–1660,5 МГц службе РАС подтверждена Резолюцией 6 20-й Генеральной ассамблеи Международного астрономического союза (МАС) (Балтимор, США, август 1988 года) и повторно подтверждена 21-й Генеральной ассамблеей МАС (Буэнос-Айрес, Аргентина, июль 1991 года) и 22-й Генеральной ассамблеей МАС (Гаага, Голландия, 1994 г.);
- g) что Рекомендация МСЭ-R RA.1031 не полностью принимает во внимание статистическую природу помех, вызываемых подвижными передатчиками,

* Настоящую Рекомендацию необходимо довести до сведения 7-й Исследовательской комиссии по радиосвязи.

рекомендует,

- 1 чтобы для координации между радиоастрономическими станциями и сухопутными и морскими ПЗС в полосах частот 1610,6–1613,8 МГц и 1660–1660,5 МГц могли использоваться принципы и методика, описанные в Приложении 1;
- 2 чтобы в МСЭ-R проводились дальнейшие исследования, включающие изучение воздушных земных станций, для пересмотра применимости настоящей Рекомендации к подробной координации между ПСС и РАС;
- 3 чтобы при любом применении методики входные параметры были согласованы заинтересованными в данной координации сторонами;
- 4 чтобы МСЭ-R и Бюро радиосвязи совместно разработали компьютерную программу для реализации методики, приведенной в Приложениях 1–4.

Приложение 1

Оценка помех, создаваемых радиоастрономическими наблюдениями от станций ПЗС/ПСС

Защита радиоастрономических наблюдений может осуществляться с помощью трех различных шагов:

Шаг 1: установлением **территориального разноса по умолчанию** между местом расположения РАС и ПЗС, которое определяет область вокруг РАС, вне которой не накладывается никаких ограничений на работу ПЗС.

Шаг 2: установлением **зоны ограничения** вокруг РАС, определяющей область, внутри которой могут существовать некоторые ограничения работе ПЗС. Эти ограничения должны быть определены органом регулирования и утверждены радиоастрономическим обществом и оператором ПСС.

Шаг 3: установлением **исключительной зоны** вокруг РАС, определенной средствами точной оценки характеристик затрагиваемых систем и, при необходимости, измерениями, внутри которой не допускается никакая работа ПЗС.

В Приложениях 2 и 3 описывается методика, которая должна использоваться для расчетов Шагов 1 и 2, соответственно. Подробные условия для работы подвижных станций в зоне ограничения нуждаются в утверждении заинтересованными сторонами, для установления исключительной зоны, соответствующей определению в Шаге 3.

В Приложении 4 приводится список семейств характеристик, необходимых для выполнения моделирования.

Расчет в Шаге 1 предназначен для получения территориального разноса по умолчанию. В Приложении 2 описывается общая методика расчета, применяемая для этой цели с использованием метода Монте Карло.

Суть этой модели – в расчете статистики мощности мешающего сигнала, создаваемого в точке расположения РАС работающими станциями ПЗС.

Для защиты радиоастрономических наблюдений устанавливается, что:

"в течение усреднения на интервале 2000 с, выполненного в любое время суток, должен существовать интервал $(100 - x)\%$ без помех, т. е. где средняя мощность помехи ниже уровней, определенных в Рекомендации МСЭ-R RA.769.

Значение 90% ($x = 10$) вытекает из оценок условий распространения радиоволн (Справочник по радиоастрономии МСЭ-R, § 4.2.4. См. также Рекомендацию МСЭ-R RA.1031). МСЭ-R рассматривает более широкую интерпретацию этого значения".

Таким образом, методика Приложения 2 используется при справедливости следующих допущений:

- время усреднения равно 2000 с (одинаково для всех испытаний);
- имеет место максимальный трафик;
- используется критерий максимальной помехи для РАС в течение $x\%$ времени (существующее значение 10% пересматривается МСЭ-R).

В случае наличия различных источников помех для радиоастрономических наблюдений требуются дальнейшие исследования возможного разделения максимального уровня мощности помех на составляющие.

Приложение 2

Методика Шага 1: Расчет территориального разноса по умолчанию между точками расположения станций РАС и ПЗС

1 Введение

В данном Приложении описывается общая методика, которая может использоваться для расчета территориального разноса по умолчанию между местом расположения станций РАС и областями, где разрешается передавать станциям ПЗС.

Эти территориальные разносы, основанные на расчетах с использованием метода Монте Карло, должны обеспечить защиту для радиоастрономических наблюдений.

2 Общие принципы, используемые в методике

2.1 Метод Монте Карло

Для расчета территориального разноса по умолчанию между местами расположения станций РАС и ПЗС необходимо оценить функцию плотности вероятности мощности помехи, создаваемой подвижными станциями и воздействующей на приемники РАС.

Это можно сделать с использованием статистического моделирования помехи методом Монте Карло.

Метод Монте Карло основан на принципе отбора значений случайных величин с заданными законами распределения вероятности.

Величины, из которых формируется выборка, многочисленны и могут принимать различные значения, поэтому точность модели возрастает с увеличением ее объема.

В конкретном случае определения территориального разноса по умолчанию эти переменные могут включать количество мобильных станций, их расположение, условия распространения.

Статистика мощности мешающего сигнала, производимого работающими станциями ПЗС в точке размещения станции РАС, выводится из расчета мощностей мешающих сигналов для каждой выборки.

2.2 Защита радиоастрономических наблюдений

Радиоастрономические наблюдения выполняются путем усреднения по времени для значительного снижения шумовых флуктуаций.

Для отображения такой практики статистика мощности принимаемого мешающего сигнала базируется на усреднении временных отсчетов в течение наблюдений.

Мощность помехи, поступающей от совокупности станций ПЗС, считается допустимой, если средняя мощность помехи превышает критический для станции РАС уровень не более чем в $x\%$ периодах усреднения, равных 2000 с.

Следующие разделы базируются на этом определении.

3 Описание методики вычислений

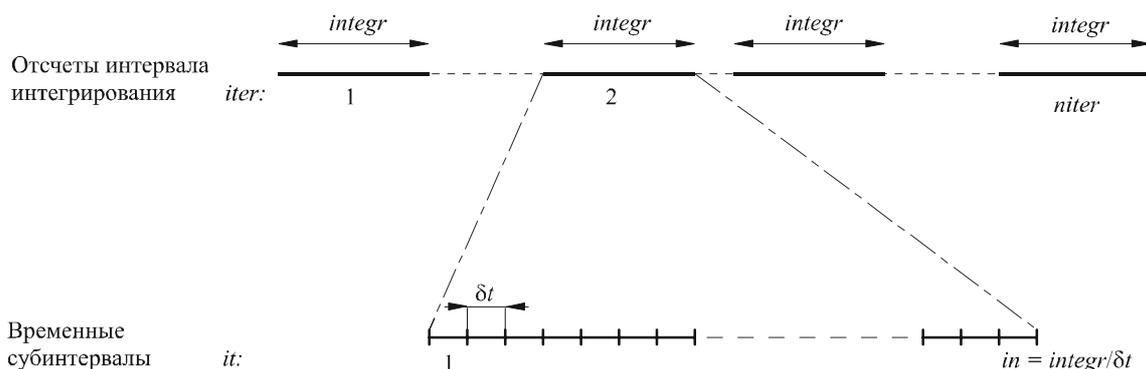
Как отмечено в § 2, статистика мощности мешающих сигналов строится на основе отсчетов в течение интервала интегрирования:

- niter*: количество отсчетов в интервале интегрирования, необходимое для формирования статистики;
- integr*: интервал между отсчетами на интервале интегрирования. Далее принято, что *integr* постоянно.

В течение каждого отсчета в интервале интегрирования *integr* рассчитывается средняя мощность помехи, создаваемой станцией ПЗС, путем усреднения "мгновенных" мощностей помех, создаваемых во временных субинтервалах длительностью δt секунд.

РИСУНОК 1

Разделение отсчетов интервала интегрирования



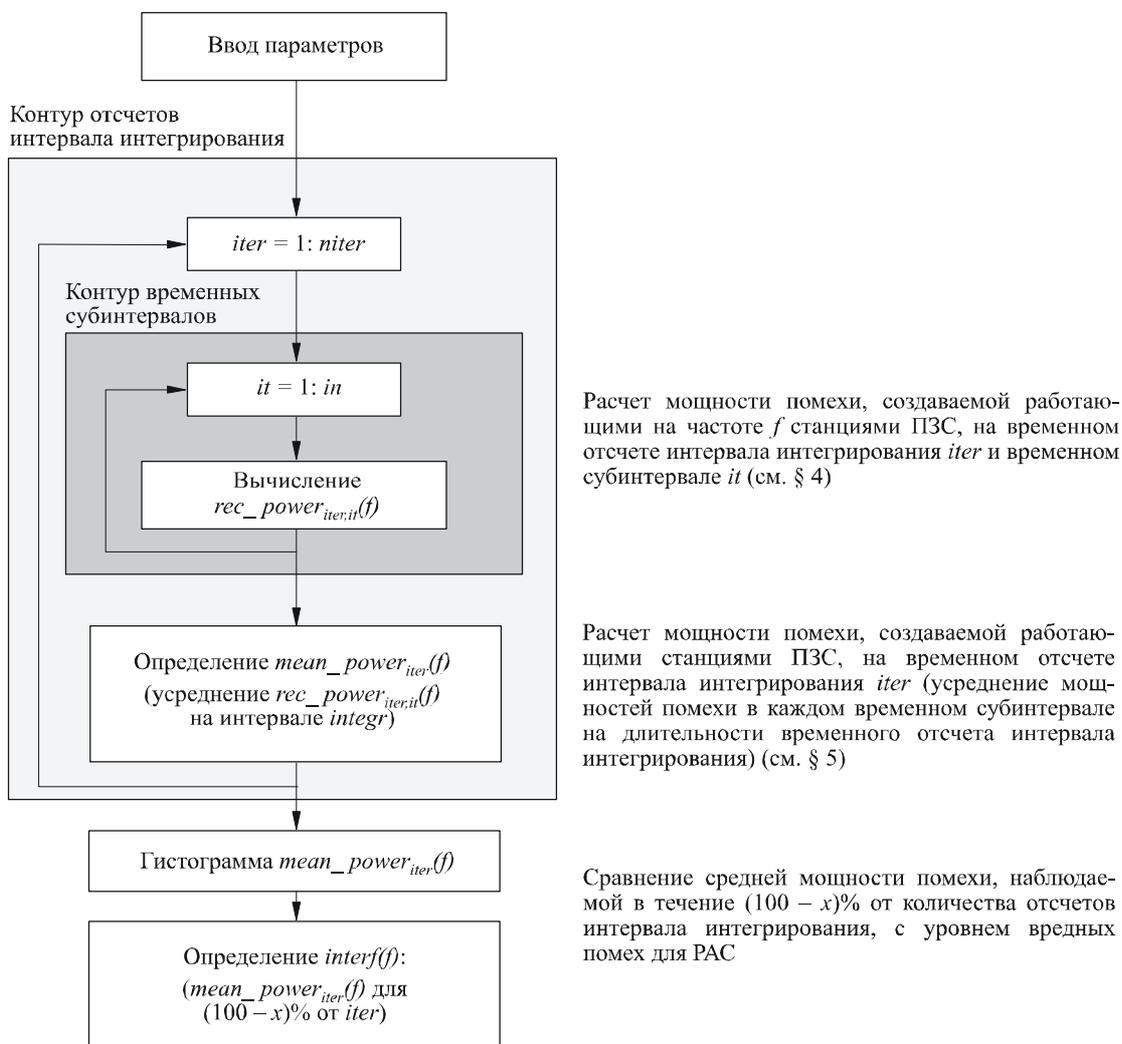
1316-01

В течение каждого временного субинтервала определяются мощности мешающих сигналов путем выполнения случайных испытаний нагрузки в рассматриваемой системе ПСС и расположения каждой работающей станции ПЗС.

Блок-схема алгоритма вычислений изображена на рисунке 2:

РИСУНОК 2

Общая блок-схема алгоритма вычислений



1316-02

4 Вычисление мощности помехи, действующей в течение временного субинтервала – моделирование трафика

Мощность помехи, действующей в течение временного субинтервала на частоте f рассчитывается путем суммирования мощностей, производимых каждой действующей подвижной станцией в течение этого временного субинтервала.

Для каждого временного интервала it необходимо определить:

- количество работающих подвижных станций в течение интервала it (выводится из заданного закона распределения трафика);
- каналы, используемые активными станциями ПЗС;
- расположение подвижных станций вокруг точки размещения станции РАС (расстояние, азимут и т. д.).

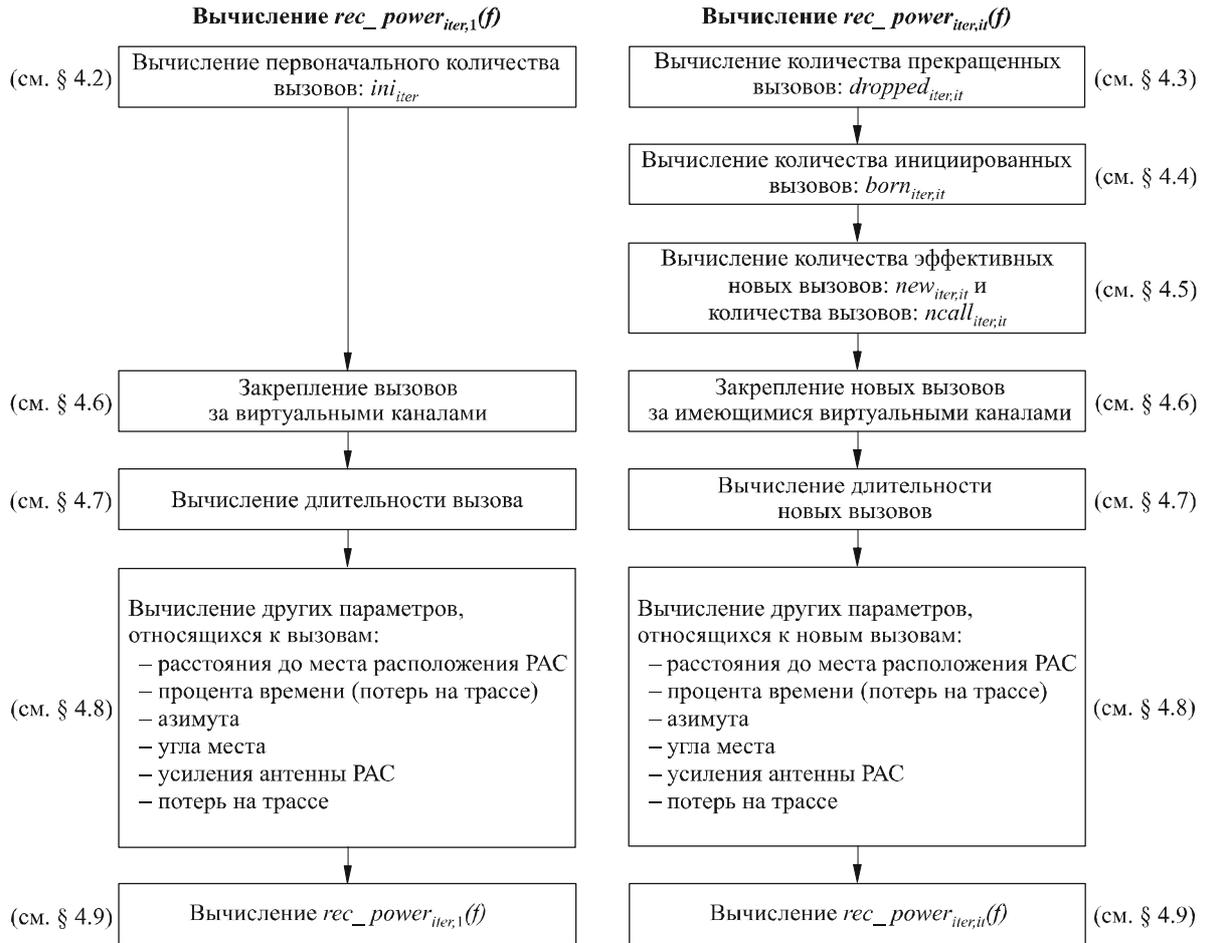
Для сохранения корреляции между каждым временным субинтервалом количество работающих подвижных станций на субинтервале it вычисляется, исходя из количества работающих подвижных станций на субинтервале $it - 1$, путем определения количества прекращенных и инициированных вызовов между этими интервалами.

Для первого временного субинтервала первоначальное количество вызовов вычисляется путем случайного испытания.

На рисунке 3 приведена блок-схема алгоритма вычислений $rec_power_{iter,it}(f)$ (отсчет интервала интегрирования $iter$, временной субинтервал it).

РИСУНОК 3

Вычисление $rec_power_{iter,it}(f)$



1316-03

4.1 Случайные испытания Монте Карло

Как отмечено в § 2.1, метод Монте Карло основывается на принципе отбора значений случайных величин, подчиняющихся заданным интегральным функциям распределения.

В качестве примера рассмотрим величину x с интегральной функцией распределения $P(X)$ и вероятность $p(x \leq X)$.

$P(x)$ – равномерное распределение в интервале между 0 и 1.

Тогда случайное равномерное испытание для $P = P(x_i)$ между 0 и 1 приводит к единственному значению x_i , соответствующему зависимости $x = f^{-1}(P)$.

4.2 Вычисление начального числа вызовов: ini_{iter}

В начале каждого отсчета интервала интегрирования вычисляется начальное количество вызовов с помощью формулы, определяющей интегральную функцию распределения наличия ini_{iter} одновременных вызовов в любой момент времени t :

$$P = \frac{\sum_{i=0}^{ini_{iter}} \frac{E^i}{i!}}{\sum_{i=0}^{Ncall} \frac{E^i}{i!}}, \quad (1)$$

где:

- P : интегральная вероятность наличия ini_{iter} одновременных вызовов в момент времени t ($ini_{iter} \leq Ncall$)
- E : пиковая требуемая нагрузка анализируемой системы (E)
- $Ncall$: максимальное число одновременных вызовов, которое может поддерживать система ПСС.

Таким образом, ini_{iter} может быть получено из случайного испытания с равномерным законом распределения P с помощью формулы (1) (см. § 4.1).

4.3 Вычисление количества прекращенных вызовов: $dropped_{iter,it}$

Вычисление количества прекращенных вызовов для $iter^{FO}$ отсчета интервала интегрирования осуществляется путем определения количества вызовов, для которых длительность вызова меньше или равна субинтервалу it :

Если $ncall_{iter,it-1}$ равно количеству вызовов на субинтервале $it-1$ ($it \neq 1$), рассмотрим один конкретный вызов c в этом субинтервале:

- если время завершения вызова c меньше или равно субинтервалу it , то этот вызов прекращен и не сохраняется при вычислении $rec_power_{iter,it}(f)$. Этот вызов учитывается в количестве прекращенных вызовов ($dropped_{iter,it}$);
- если время завершения вызова c больше субинтервала it , то этот вызов сохраняется для вычислений, выполняемых для субинтервала it .

4.4 Вычисление потенциального количества поступающих вызовов: $born_{iter,it}$

Для каждого временного интервала возможное количество инициируемых вызовов вычисляется с помощью формулы, определяющей интегральную функцию распределения количества поступающих вызовов на заданном интервале времени:

$$P = \sum_{i=0}^{born_{iter,it}} \frac{(\lambda \delta t)^i}{i!} e^{-\lambda \delta t}, \quad (2)$$

где:

- P : суммарная вероятность поступления $born_{iter,it}$ вызовов между временными субинтервалами it и $it+1$
- λ : средняя частота вызовов спутниковой системы
- δt : длительность временного субинтервала.

Таким образом, $born_{iter,it}$ может быть получено из случайного испытания с равномерным законом распределения P с помощью формулы (2) (см. § 4.1).

4.5 Расчет эффективного числа новых вызовов $new_{iter,it}$ и количества вызовов $ncall_{iter,it}$

Среди вызовов (поступающих) не все будут успешными из-за физических ограничений системы (максимального числа вызовов).

Если $ncall_{iter,it-1}$ равно количеству вызовов, поступающих на субинтервале $it-1$ ($it \neq 1$) (используется для расчета $rec_power_{iter,it}(f)$), тогда:

$dropped_{iter,it}$ равно количеству вызовов, прекращенных между временными субинтервалами it и $it+1$;

$born_{iter,it}$ равно количеству вызовов, поступающих между временными субинтервалами it и $it+1$,

и эффективное количество вызовов, которое необходимо учитывать при вычислении $rec_power_{iter,it}(f)$, рассчитывается по следующей формуле:

$$ncall_{iter,it} = \min(Ncall, ncall_{iter,it-1} + born_{iter,it} - dropped_{iter,it}), \quad (3)$$

а число эффективных новых вызовов будет:

$$\begin{aligned} new_{iter,it} &= ncall_{iter,it} - ncall_{iter,it-1} + dropped_{iter,it} \\ (new_{iter,it} &\leq born_{iter,it}) \end{aligned} \quad (4)$$

при $it = 1$, $ncall_{iter,1} = ini_{iter}$.

4.6 Распределение (новых) вызовов между доступными каналами трафика

И при многостанционном доступе на основе кодового разделения (МДКР) и временного разделения (МДВР) несколько вызовов могут быть направлены на один и тот же физический канал. Мы определим канал трафика как состоящий из доступных слотов вызова (определяемых во временной области при МДВР или кодовой области при МДКР), так что для любого физического канала имеется n_{max} каналов трафика.

Полный трафик равномерно распределяется среди имеющихся каналов трафика в области, имеющей радиус одного точечного луча. Это означает, что:

- если $it = 1$, то ini_{iter} вызовов равномерно распределяются по всем $Ncall$ каналам трафика;
- если $it \neq 1$, то $new_{iter,it}$ вызовов равномерно распределяются по $ncall_{iter,it-1} - dropped_{iter,it}$ имеющимся каналам трафика.

Если операторы предоставят другие правила распределения трафика по имеющимся каналам, то они могут быть включены в данную методику.

4.7 Вычисление времени завершения (новых) вызовов

Для каждого нового вызова s время завершения вызова определяется с помощью формулы интегральной функции распределения длительности вызова:

$$P = 1 - e^{-\frac{(T_c - t)}{\mu}}, \quad (5)$$

где:

- P : интегральная вероятность того, что длительность вызова не превысит $(T_c - t)$
- t : текущий временной субинтервал (момент возникновения вызова)
- T_c : время завершения вызова
- μ : средняя длительность вызова в спутниковой системе.

Таким образом, T_c может быть получено из случайного испытания с равномерным законом распределения P с помощью следующей формулы (см. § 4.1):

$$T_c = t - \mu \cdot \ln(1 - P). \quad (6)$$

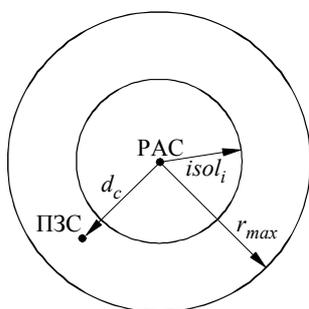
4.8 Вычисление других параметров, связанных с (новыми) вызовами

4.8.1 Вычисление расстояния между подвижной станцией и антенной РАС

Предполагается, что станции ПЗС равномерно распределены вокруг точки расположения станции РАС.

Когда в канале i возникает новый вызов c , то интегральная функция распределения наличия станции ПЗС на расстоянии d_c определяется следующей формулой:

$$P = \frac{d_c^2 - isol_i^2}{r_{max}^2 - isol_i^2}, \quad (7)$$



1316-04

где:

P : интегральная вероятность наличия ПЗС, обеспечивающей вызов c по каналу i на расстоянии d_c

$isol_i$: разделительное расстояние по умолчанию между ПЗС и местом расположения РАС

r_{max} : максимальный радиус поиска станций ПЗС вокруг места расположения РАС.

Тогда d_c может быть получено из случайного испытания с равномерным законом распределения P по следующей формуле (см. § 4.1):

$$d_c = \sqrt{P(r_{max}^2 - isol_i^2) + isol_i^2}. \quad (8)$$

4.8.2 Вычисление процента времени, который должен быть использован при вычислении потерь трассы

При возникновении нового вызова процент времени p_c , который должен быть использован при вычислении потерь трассы между точкой расположения станции РАС и станцией ПЗС, обеспечивающей вызов, считается равномерно распределенным в интервале между 0% и 100%. Здесь p_c имеет то же значение, что и p в Рекомендации МСЭ-R Р.452, определяемое как "требуемый процент времени, в течение которого потери на трассе не превышают заданного значения".

Таким образом, p_c может быть получено из испытания с равномерным законом распределения (см. § 4.1). Если результат испытания превышает 50%, он принимается равным 50% (наихудший случай вычислений). Если результат испытания оказывается меньше 0,001%, он принимается равным 0,001%.

Процент времени сохраняется до тех пор, пока вызов не прекратится.

4.8.3 Вычисление углов

Рассмотрим новый вызов c , сделанный станцией ПЗС, и:

az_{RAS} : азимутальный угол антенны РАС (может являться результатом случайного испытания с равномерным законом распределения в начале каждого шага итерации);

$elev_{RAS}$: угол места антенны РАС (может являться результатом случайного испытания с равномерным законом распределения для телесного угла в начале каждого шага итерации).

Следующая формула дает интегральную функцию распределения телесного угла для случайного испытания с равномерным законом распределения:

$$P = \frac{\sin(\varphi) - \sin(elev_{min})}{\sin(elev_{max}) - \sin(elev_{min})}, \quad (9)$$

где:

- P : интегральная вероятность работы при угле места менее φ
- $elev_{min}$: минимальный угол места
- $elev_{max}$: максимальный угол места
- az_c : азимутальный угол антенны станции ПЗС, обеспечивающей вызов c (только если он направленный)
- $elev_c$: угол места антенны станции ПЗС, обеспечивающей вызов c (только если он направленный)
- $az_{c,RAS}$: азимутальный угол от антенны станции РАС на станцию ПЗС, обеспечивающую вызов c .
Результат случайного испытания с равномерным законом распределения между 0° и 360° (см. § 4.1)
- α_c : угол отклонения от оси, учитываемый при расчете усиления антенны РАС, в направлении на станцию ПЗС, обеспечивающую вызов c
- β_c : угол отклонения от оси, учитываемый при расчете усиления станции ПЗС, обеспечивающей вызов c в направлении станции РАС (если он направленный).

Тогда:

$$\begin{aligned} \alpha_c &= \cos^{-1}(\cos(az_{c,RAS} - az_{RAS}) \cos(elev_{RAS})) \\ \beta_c &= \cos^{-1}(\cos(az_{MES} - az_{c,RAS} - 180) \cos(elev_{MES})) \end{aligned} \quad (10)$$

Могут использоваться и другие функции распределения углов.

4.8.4 Расчет усиления антенны РАС в направлении рассматриваемой станции ПЗС

После возникновения нового вызова c вычисляется усиление $G_{c,RAS}$ антенны РАС по формуле (11) (см. Рекомендацию МСЭ-R SA.509):

$$\begin{aligned} G_{c,RAS} &= 32 - 25 \log \alpha_c && \text{при } 1^\circ \leq \alpha_c \leq 48^\circ \\ &= -10 && \text{при } \alpha_c \geq 48^\circ. \end{aligned} \quad (11)$$

Считается, что α_c больше 1° .

Усиление не изменяется, пока вызов не завершится.

Для применения этой методики к специфическим местам расположения станций могут потребоваться другие модели усиления антенны.

4.8.5 Расчет усиления антенны станции ПЗС в направлении на точку расположения станции РАС

После возникновения нового вызова c вычисляется усиление $G_{c,MES}$ антенны ПЗС с использованием β_c .

Усиление не изменяется, пока вызов не завершится.

4.8.6 Расчет потерь на трассе

Потери на трассе L_c вычисляются на основе предположения справедливости тропосферного рассеяния (см. Рекомендацию МСЭ-R P.452) для больших расстояний и сферической дифракции (см. Рекомендацию МСЭ-R P.526) для малых расстояний. Необходимо обратить внимание на сохранение непрерывности этих двух моделей. Непрерывность может быть достигнута путем выбора (для каждого вызова) модели, обеспечивающей минимальные потери на трассе в зависимости от расстояния и рассматриваемого процента времени p_c . Далее, потери на трассе вычисляются, исходя из предположения ясного неба, т. е. без учета рассеяния от атмосферных образований, самолетов и

спутников. Значения d_{tm} и d_{lm} , используемые в уравнениях (3) и (3а) Рекомендации МСЭ-R Р.452, равны d_c и 0, соответственно, для отображения общей ситуации.

При использовании модели сферической дифракции вычисление k (эффективного радиуса Земли) производится по формуле (12) из Рекомендации МСЭ-R Р.452. Значениями параметров d_{lt} и d_{lr} , используемых в формуле (13а) из Рекомендации МСЭ-R Р.452, являются, соответственно, расстояния от передающих и приемных антенн до горизонтов (наихудший случай). Они вычисляются следующим образом:

$$d_{lt} = \sqrt{(h_{mes} + R)^2 + R^2}$$

$$d_{lr} = \sqrt{(h_{ras} + R)^2 + R^2}$$

где:

h_{mes} : высота антенны станции ПЗС

h_{ras} : высота антенны станции РАС

R : радиус Земли (6378,1 км).

При использовании Рекомендации МСЭ-R Р.526 должен рассматриваться соответствующий параграф 3.1.2. Значение β в уравнениях (7) и (8) из Рекомендации МСЭ-R Р.526 устанавливается равным 1, и используется уравнение (11а) из нее же.

Когда используется модель тропосферного рассеяния, то θ вычисляется в соответствии с Дополнением 2 к Приложению 1 Рекомендации МСЭ-R Р.452 путем сложения (с угловым расстоянием между ПЗС и РАС) угла θ_d , угла места горизонта, по отношению к станции ПЗС (без экранирования земли), и дополнительного угла θ_r (например, 1°). Этот дополнительный угол предназначен для учета возможного экранирования (деревья, строения, холмы, горы...) радиоастрономической обсерватории. Значение θ_d отрицательное, так как значение высоты антенны ПЗС положительно. Его можно оценить как $-d_{lt}/R$ при прежнем определении этих переменных, приняв аппроксимацию $-\text{asin}(d_{lt}/R)$. Наконец, получаем уравнение для расчета углового расстояния:

$$\theta = d_c / R + \theta_r - d_{lt} / R.$$

Значения высоты антенн по умолчанию равны 1,5 м для ПЗС и 30 м для РАС. Применение данной методики к специфическим местам расположения антенн может потребовать других значений высоты антенн.

4.9 Вычисление $rec_power_{iter,it}(f)$

При рассмотрении одного вызова c во временном интервале it и отсчета интервала интегрирования $iter$, использующего канал i , мощность помехи $I_c(f)$, создаваемой станцией ПЗС в точке расположения станции РАС на частоте f , равна:

$$I_c(f) = P_i(f) + G_{c,MES} - L_c + G_{c,RAS}, \quad (12)$$

где:

$P_i(f)$: средняя мощность, создаваемая станцией ПЗС, обеспечивающей вызов c (в канале i) на частоте f . Это значение на конкретной частоте f может быть получено с помощью маски излучения, имеющейся для конкретного класса подвижных станций с учетом частотного разноса $(f-f_i)$ канала, используемого для вызова c , по отношению к центральной частоте f_i

$G_{c,MES}$: усиление антенны станции ПЗС, поддерживающей вызов c , в направлении точки расположения РАС

L_c : потери на трассе между станцией ПЗС, обеспечивающей вызов c , и точкой расположения РАС

$G_{c,RAS}$: усиление антенны станции РАС в направлении станции ПЗС, обеспечивающей вызов c

r_{max} : максимальный радиус поиска ПЗС вокруг точки расположения РАС.

Тогда $rec_power_{iter,it}(f)$ равна сумме мощностей мешающих сигналов $ncall_{iter,it}$, создаваемых одновременно работающими станциями ПЗС:

$$rec_power_{iter,it}(f) = 10 \log \left(\sum_{c=1}^{ncall_{iter,it}} 10^{\frac{I_c(f)}{10}} \right). \quad (13)$$

5 Определение $mean_power_{iter}(f)$

Средняя мощность мешающего сигнала, действующего в течение отсчета интервала интегрирования, вычисляется путем усреднения мощностей мешающих сигналов каждого временного субинтервала по всему отсчету интервала интегрирования. Тогда:

$$mean_power_{iter}(f) = 10 \log \left(\frac{1}{in} \sum_{it=1}^{in} 10^{\frac{rec_power_{iter,it}(f)}{10}} \right), \quad (14)$$

где:

- $mean_power_{iter}(f)$: средняя мощность мешающего сигнала, действующего в расположении станции РАС в течение $iter^{го}$ отсчета интервала интегрирования на частоте f
- $rec_power_{iter,it}(f)$: мощность мешающего сигнала, действующего в расположении станции РАС на частоте f в течение $it^{го}$ временного субинтервала $iter^{го}$ отсчета интервала интегрирования
- $integr$: длительность отсчета интервала интегрирования
- in : число временных субинтервалов в пределах отсчета интервала интегрирования.

Дополнение 1 к Приложению 2

Список переменных

- α_c : угол отклонения от оси, учитываемый при расчете усиления антенны РАС, в направлении на станцию ПЗС, обеспечивающую вызов c
- β_c : угол отклонения от оси, учитываемый при расчете усиления станции ПЗС, обеспечивающей вызов c в направлении станции РАС (если он направленный)
- λ : средняя частота вызовов спутниковой системы ($/с$). (Средняя частота вызовов спутниковой системы, λ , равна средней частоте вызовов подвижной станции (λ_{MES}), умноженной на число подвижных станций в области, радиус которой равен радиусу точечного луча: $N_{MES}: \lambda = \lambda_{MES} N_{MES}$)
- μ : средняя длительность вызова в спутниковой системе (с)
- az_c : азимутальный угол антенны станции ПЗС, обеспечивающей вызов c
- $az_{c,RAS}$: азимутальный угол от антенны станции РАС на станцию ПЗС, обеспечивающую вызов c
- az_{RAS} : азимутальный угол антенны РАС
- $born_{iter,it}$: число вызовов, поступающих между временными субинтервалами it и $it + 1$, $iter^{го}$ отсчета интервала интегрирования. Использовалось для расчета $ncall_{iter,it}$. Число фактически произведенных вызовов меньше либо равно данной величине

- d_c : расстояние от точки расположения станции РАС до станции ПЗС, обеспечивающей вызов c
- $dropped_{iter,it}$: число вызовов, закончившихся между временными субинтервалами it и $it + 1$, $iter^{TO}$ отсчета интервала интегрирования. Использовалось для расчета $ncall_{iter,it}$
- δt : длительность временного субинтервала
- $elev_c$: угол места антенны станции ПЗС, обеспечивающей вызов c
- $elev_{RAS}$: угол места антенны станции РАС
- E : максимальная нагрузка спутниковой системы (эрланг)
 E может быть:
 – задана оператором ПСС или СПСС
 – рассчитана по известным λ и μ по формуле: $E = \lambda \mu$, где λ – средняя частота вызовов спутниковой системы, μ – средняя продолжительность вызовов
- $G_{c,MES}$: усиление антенны станции ПЗС, обеспечивающей вызов c , в направлении точки расположения РАС
- $G_{c,RAS}$: усиление антенны станции РАС в направлении станции ПЗС, обеспечивающей вызов c
- h_{mes} : высота антенны станции ПЗС
- h_{ras} : высота антенны станции РАС
- ini_{iter} : количество вызовов $iter^{TO}$ отсчета интервала интегрирования
- $integr$: длительность отсчета интервала интегрирования
- $I_c(f)$: мощность помехи, создаваемой станцией ПЗС, обеспечивающей вызов c , в точке расположения станции РАС на частоте f
- $interf(f)$: средняя мощность помех, принимаемых в точке расположения станции РАС в течение $(100 - x)\%$ всех отсчетов интервалов интегрирования на частоте f [(100 - x)% от $niter_mean_power_{iter}(f)$]
- $isol_i$: территориальный разнос между точкой расположения станции РАС и станцией ПЗС, обеспечивающей вызов c в канале i (территориальные разносы могут зависеть от используемых каналов)
- in : максимальное число it
- it : текущий временной субинтервал отсчета интервала интегрирования. Изменяется от 1 до in
- $iter$: текущий отсчет интервала интегрирования. Изменяется от 1 до $niter$
- k : эффективный радиус Земли
- $mean_power_{iter}(f)$: средняя мощность мешающего сигнала, принимаемого в расположении станции РАС в течение $integr^{TO}$ отсчета интервала интегрирования. Рассчитывается усреднением $rec_power_{iter,it}(f)$ на интервале $integr$
- $Ncall$: максимальное количество вызовов. Физическое ограничение, определяемое максимальным количеством каналов $nchannel$ и максимальным количеством вызовов в канале $nmax$
- $ncall_{iter,it}$: количество вызовов, поступающих между временным субинтервалом it и $it + 1$, учитываемое при расчете мощности помех $rec_power_{iter,it}$. Оно или рассчитывается по известным $ncall_{iter,it-1}$, $dropped_{iter,it}$ и $born_{iter,it}$, или принимается равным $Ncall$
- $nchannel$: максимальное количество каналов системы ПСС
- $new_{iter,it}$: эффективное количество новых вызовов, поступающих между временными субинтервалами it и $it + 1$ в течение $iter^{TO}$ отсчета интервала интегрирования. $new_{iter,it} \leq born_{iter,it}$
- $niter$: количество отсчетов интервала интегрирования, необходимое для формирования статистики. Представляет количество отсчетов, необходимое для построения гистограммы
- $nmax$: максимальное количество вызовов на канал системы ПСС (= 1 для системы МДВР, > 1 для системы МДКР)

- $P_i(f)$: средняя мощность, создаваемая каналом i на частоте f
- P_c : процент времени, учитываемый при расчете потерь на трассе между точкой расположения станции РАС и станцией ПЗС, обеспечивающей вызов c
- $rec_power_{iter,it}(f)$: мощность мешающего сигнала, принимаемого в месте расположения станции РАС между временным субинтервалом it и $i+1$ $iter^{го}$ отсчета интервала интегрирования
- r_{max} : максимальный радиус поиска подвижных терминалов (км). r_{max} имеет минимальное значение 500 км и равен радиусу точечного луча
- t : текущий субинтервал отсчета интервала интегрирования. Изменяется от δt до $integr$
- T_c : время окончания вызова c
- L_c : потери на трассе для вызова c
- d_{im} : как в Рекомендации МСЭ-R P.452, длина самого длинного непрерывного участка суши (континентальной и прибрежной) дуги большого круга (км)
- d_{lm} : как в Рекомендации МСЭ-R P.452, длина самого длинного непрерывного континентального участка дуги большого круга (км)
- d_{lt}, d_{lr} : как в Рекомендации МСЭ-R P.452, расстояние от передающей и приемной антенн до соответствующих им горизонтов
- θ : как в Рекомендации МСЭ-R P.452, угловое расстояние трассы
- θ_t, θ_r : как в Рекомендации МСЭ-R P.452, углы места в направлении горизонта в точке передатчика и в точке приемника
- β : как в Рекомендации МСЭ-R P.526, § 3.1.2, параметр, учитывающий свойства земли и поляризации.

Приложение 3

Методика Шага 2: Расчет зон ограничения вокруг мест расположения станций РАС при совмещении с терминалами ПЗС

1 Введение

В Приложении даются руководящие указания по определению зон ограничения вокруг точек расположения станций РАС для защиты радиоастрономических наблюдений.

Основа методики расчета зон ограничения та же, что и используемая для расчета территориального разнеса по умолчанию, описанной в Приложении 2.

Для учета специфических характеристик мест расположения станций в модель включены дополнительные параметры. Так, § 2 данного Приложения содержит в Шаге 2 дополнительные соображения относительно методики Шага 1 для определения зон ограничения вокруг станций РАС.

2 Возможные усовершенствования методики Шага 1

Вообще, все дополнительные соображения касаются специфики учета географических данных, характеризующих конкретное место расположения станции РАС. Программные средства, предназначенные для определения зон ограничения вокруг специфических мест расположения станций РАС, должны учитывать следующее:

– *Модель распространения:*

Включение методов расчета потерь на трассе из Рекомендации МСЭ-R Р.452 должно потребовать наличия действительных топографических данных.

Более того, поскольку антенна ПЗС располагается не очень высоко над землей (можно полагать, что она находится на высоте 1,5 м), то любые препятствия на трассе будут влиять на распространение радиоволн между терминалом ПЗС и антенной станции РАС.

В качестве первого приближения может оказаться достаточным ограниченное применение Рекомендации МСЭ-R Р.452, использующей информацию об угле места горизонта во всех направлениях, окружающих обсерваторию РАС, об угле места точки расположения терминала ПЗС и, возможно, помехах ПЗС, создаваемых переотражениями от местных предметов.

– *Распределение подвижных терминалов:*

Чтобы учесть специфические характеристики мешающей сети, необходимо пересмотреть предположение о равномерном распределении терминалов ПЗС вокруг точки расположения РАС.

Моделирование должно также учитывать характеристики движения терминалов ПЗС вместо предположения об их стационарности в течение вызова.

Необходимо отметить, что движение терминалов ПЗС может оказывать влияние как на усиление антенны РАС, так и на дискриминацию антенны ПЗС.

Должны учитываться и другие факторы, такие как управление мощностью. Однако это потребовало бы некоторых экспериментальных и эксплуатационных данных, которые, возможно, недоступны в настоящее время для некоторых из анализируемых сетей ПСС.

Перечень предлагаемых дополнений к базовой методике может оказаться неполным, и в него могут быть внесены добавления сторонами, участвующими в определении действительных зон координации.

Приложение 4

Информация, которую необходимо получить от операторов ПСС в качестве исходных данных для расчета территориального разноса по умолчанию между точкой расположения РАС и терминалом ПЗС

	Примечание
Тип доступа	МДВР или МДКР
Организация каналов: – центральные частоты каналов (МГц) – номинальная ширина полос (кГц) – коэффициент повторного использования частоты	
Шаблон излучения	э.и.и.м. относительно частоты несущей
Определение средней мощности ПЗС (дБ(Вт/4 кГц)): – пиковая плотность мощности в номинальных полосах (дБ) – коэффициент снижения мощности для систем МДВР (усреднение по временным интервалам) (дБ) – коэффициент снижения мощности для управления мощностью (управляемое ослабление средней мощности) (дБ) ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Пожалуйста, отметьте, применяются ли эти факторы только в пределах номинальных полос или также и к шаблону излучения.	
Максимальное количество вызовов на один канал	
Максимальное усиление антенны ПЗС в направлении горизонта (дБи)	
Диаграмма антенны ПЗС, направленной в горизонтальной плоскости	
Азимут точки наведения антенны ПЗС (град.)	Только если антенна ПЗС направленная
Угол места точки наведения антенны ПЗС (град.)	Только если антенна ПЗС направленная
Средняя частота вызовов на один терминал ПЗС (при максимальном трафике) (/с)	
Средняя продолжительность вызова на один терминал ПЗС (при максимальном трафике) (/с)	
Вероятность блокирования доступа к системе	Необходима для расчета нагрузки в эрлангах по кривым эрланга В. Определяет вероятность того, что поступающий вызов будет блокирован.
Максимальная плотность пользователей (/км ²)	
Максимальная плотность активных пользователей (/км ²)	