|  |
| --- |
| **Рекомендация МСЭ-R F.1107-2**  **(05/2011)** |
| **Вероятностный анализ для оценки помех фиксированной службе от спутников, использующих геостационарную орбиту** |
| **Серия F**  **Фиксированная служба** |

**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-Т/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции 1 МСЭ-R. 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-Т/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

|  |  |
| --- | --- |
| **Серии Рекомендаций МСЭ-R**  (Представлены также в онлайновой 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** | Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая 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 1 МСЭ-R.* |

*Электронная публикация*Женева, 2011 г.

© ITU 2011

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 F.1107-2[[1]](#footnote-1)\*

Вероятностный анализ для оценки помех фиксированной службе от спутников, использующих геостационарную орбиту

(1994-2002-2011)

Сфера применения

Настоящая Рекомендация предоставляет методы для оценки критериев совместного использования частот в отношении помех цифровым системам фиксированной беспроводной связи со стороны спутников, использующих геостационарную орбиту. В Приложении 1 описывается подход для вычисления помех работе цифровых систем, дается описание методики расчета и приведены примеры и модель программного обеспечения для применения данной методики.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

а) что излучения космических станций, работающих на геостационарной орбите и совместно использующих тот же спектр, могут создавать помехи приемным станциям фиксированной службы (ФС);

b) что координация между многими наземными станциями и многими космическими станциями может оказаться практически нецелесообразной и что поэтому должны быть выработаны критерии совместного использования частот, чтобы исключить необходимость детальной координации;

c) что при выработке таких критериев совместного использования частот необходимо принимать во внимание эксплуатационные и технические требования сетей спутниковой службы, а также требования ФС и приемлемые для них меры;

d) что было установлено, что вероятностная основа для разработки критериев совместного использования частот позволяет обеспечить более эффективное использование спектра по сравнению с критериями, разработанными с использованием анализа для худшего случая;

e) что трудно собрать достаточную статистически точную информацию о реально существующих и планируемых наземных и спутниковых станциях;

f) что компьютерное моделирование ФС и спутниковых служб, работающих на геостационарной орбите, может дать статистически точную информацию, пригодную для выработки критериев в случае большого разнообразия сценариев совместного использования частот,

рекомендует,

**1** что информация, полученная путем компьютерного моделирования ФС и спутниковых служб, работающих на геостационарной орбите и использующих тот же спектр, может быть приемлемой для выработки критериев совместного использования частот;

**2** что при выработке критериев совместного использования частот для цифровых систем в ФС должен приниматься во внимание материал, содержащийся в Приложении 1, для оценки влияния помех от ФС на цифровую ФС.

Приложение 1  
  
Информация для оценки помех цифровым системам фиксированной службы   
от излучений космических станций, работающих   
на геостационарной орбите

# 1 Введение

В данном Приложении представлена дополнительная информация, необходимая для оценки помех системам ФС, использующим цифровую модуляцию.

Эта методика обеспечивает получение статистических данных как для значений отношения помеха-шум (*I*/*N*) отдельных станций, так и для значений частичного ухудшения качественных показателей (FDP) трасс. Методика, применяемая для оценки FDP на трассе, согласно описанию в разделе 3, действует только в случаях, когда отношение *I*/*N* приемной станции данной трассы не настолько велико, чтобы перевести приемник в нелинейную область. Поэтому пользователю лучше проводить оценку *I*/*N* с помощью статистики приемника, как описано в разделе 2, прежде чем проводить оценку статистики FDP на многопролетной основе, как описано в разделе 3.

Данное Приложение применяется к цифровым системам ФС, где, как правило, преобладает многолучевое замирание, и не применяется к тем системам, в которых преобладают процессы ослабления в атмосферных осадках.

# 2 Анализ по отдельным станциям

В случае с цифровыми системами ФС передачи из пункта в пункт (Р-Р) и передачи из пункта во многие пункты (Р-МР) следует оценивать помехи с точки зрения FDP, как определено для изменяющихся во времени помех от негеостационарных спутников в Приложении 3 к Рекомендации МСЭ-R F.1108. По аналогии, когда существует только одна станция ФС, показатель *FDPhop* из-за источников помех со стороны геостационарных спутников может быть определен на входе приемника следующим образом, принимая во внимание то, что уровень помех почти не изменяется во времени:

 (1)

где:

*I*:суммарная помеха (Вт/МГц) приемнику ФС от видимых спутников;

*NT* : тепловой шум приемника (Вт/МГц).

Методика, предложенная в Дополнении 2 настоящего Приложения, может использоваться для оценки статистических данных *I*/*N*.

При необходимости определения влияния помех на цифровые приемники ФС с разнесением для вычисления *FDPhop* более подходящей может оказаться другая формула, описанная в Приложении 4 к Рекомендации МСЭ-R F.1108.

# 3 Многопролетные системы ФС для связи пункта с пунктом (Р-Р)

Для цифровых систем ФС с *n* пролетами, работающих на частотах, где, как правило, преобладает многолучевое замирание, и подтверждающих, что в общем показатели качества многопролетных систем ФС для связи пункта с пунктом указываются на основе той или иной трассы, могут применяться два вероятностных метода оценки. Один метод описан в разделе 2, а другой метод состоит в вычислении *FDP* для трассы и представляет собой отношение общей мощности помех к общей мощности шума для одного направления трассы:

 (2)

где *Ik* – это суммарная помеха, попадающая в *k*-й приемник от видимых спутников.

Следует отметить, что уравнение (2) основано на предположении о том, что:

– цифровой сигнал регенерируется в каждом ретрансляторе;

– замирание обладает характеристиками рэлеевского распределения.

Следует также отметить, что для вычисления показателя *FDProute* для цифровых систем ФС с разнесением необходимо использовать соответствующую формулу, отличающуюся от уравнения (2). Требуется проведение дальнейших исследований.

Несмотря на то что существует множество типов замираний, замирание по рэлеевскому закону считается самым сильным замиранием, встречающимся на трассах прямой видимости, и служит определяющим фактором при оценке характеристик системы ФС. Особенностью рэлеевского замирания является то, что, например, вероятность глубокого замирания в 10 дБ становится меньше при коэффициенте 1/10. Поэтому, если существуют неизменная во времени помеха в пролете, уровень которой равен уровню теплового шума (*I*/*N* = 0 дБ), вероятность появления пораженных секунд (либо вероятность времени неработоспособности) увеличивается в два раза по сравнению со случаем, когда шум отсутствует.

У концепции FDP есть определенные ограничения. Наиболее важным является предположение о том, что работа приемника ФС остается в области линейного отклика. Если уровень помех чрезвычайно высок и работа приемника ФС переходит в область нелинейного отклика, концепция FDP применяться не будет или будет недооценивать влияние помех (см. абзац после уравнения (16) в Приложении 3 к Рекомендации МСЭ-R F.1108). Однако, пока работа приемника ФС остается в области линейного отклика, уравнение (2) действует для цифровых многопролетных систем ФС.

Обсуждение в предыдущем разделе не приводит к выводу о том, что только FDP должен вычисляться на основе трасс. Вычисление FDP на основе станций будет также полезно для понимания влияния помех.

Обычное расстояние пролета для систем большой протяженности составляет 50 км, однако более короткое расстояние пролета может подходить для систем малой протяженности, в зависимости от различных факторов, включая рабочую частоту и влияние условий распространения. Так, если рабочая частота находится в диапазоне 1–3 ГГц, случайный выбор между указанными пределами (к примеру, между 10 и 30 км) может соответствовать типичным расстояниям пролета.

Рассматриваемые трассы ФС должны выбираться согласно подходу моделирования по методу Монте-Карло с использованием трасс, начинающихся в произвольно выбранном пункте в пределах указанного пользователем испытательного блока, определенного посредством установления пределов широты и долготы.

При проведении анализа трассы для цифровых систем, подвергающихся воздействию многолучевого замирания, может отсутствовать необходимость в том, чтобы каждый отдельный пролет отвечал критерию *I*/*N.* Тем не менее общие показатели трассы должны отвечать критерию частичного ухудшения качественных показателей. Этот утверждение объясняется ниже.

В случае, когда многолучевое замирание является доминирующим механизмом замирания, Рекомендация МСЭ-R Р.530 связывает вероятность отказа пролета *P*(*hop outage*) с запасом на замирание по тепловому шуму (TFM) линии связи:

*P*(*отказ пролета*) = *K* · *d*3,6 · *f*0,89 · (1 + | *hr* – *he* |/*d*)–1,4 · 10–*TFM*/10,

где:

*K* : геоклиматический фактор;

*d* : длина линии (км);

*f* : частота (ГГц);

*hr* и *he* : высота приемной и передающей антенн (в метрах выше уровня моря либо в ином общепринятом толковании);

*TFM* : запас на замирание по тепловому шуму пролета (дБ).



где:

 отношение незамирающей несущей-шум (*C*/*N*) (дБ),

*CNC* : значение *C*/*N*,при котором должен быть удовлетворен критерий качественных показателей (дБ).

При

*K* · *d* 3,6 · *f*0,89 · (1 + | *hr* – *he* |/*d*)–1,4 · 10–*CNC*/10 = γ

получаем:

*P*(*отказ пролета*) = γ · *NT*/*C.*

Таким образом,

*P*(*отказ пролета до воздействия спутниковых помех*) = γ · *NT*/*C*;

*P*(*отказ пролета после воздействия суммарных спутниковых помех*) = γ · (*NT*+I)/*C*,

где значения *C*, *NT* и *I* указываются с использованием совместимых единиц мощности.

Если предположить, что:

– каждый пролет проектируется таким образом, что имеет одинаковую номинальную вероятность отказа до воздействия спутниковых помех;

– замирания в пролетах являются независимыми, а вероятности отказа могут добавляться достаточно редко,

то номинальная вероятность отказа для трассы определяется как:

*P*(*отказ трассы*) = Σ (*P*(*отказ пролета*))*количество пролетов на трассе*.

Таким образом, частичное увеличение вероятности отказа для трассы из-за снижения запаса на замирание по каждому пролету в пределах трассы просто определяется как:

*FDP*(*отказ трассы*)







т. е. значение FDP трассы равно общей мощности помех на трассе, деленной на общую мощность шума на трассе:

,



Таким образом, более приемлемым является применение подхода FDP для оценки влияния помех на трассу ФС и использование процентных соотношений (а не дБ).

В системах передачи P‑MP большинство линий связи имеет один пролет, ввиду чего применяется уравнение (1). В системах передачи P‑P типичным является развертывание многопролетных систем, ввиду чего применяется уравнение (2).

# 4 Системы ФС для связи пункта со многими пунктами (P-MP)

Помехи центральным станциям в системах P-MP должны вычисляться согласно разделу 2 в случае цифровой модуляции, однако следует заметить, что эти станции применяют всенаправленные или секторальные антенны. Эталонные диаграммы направленности в угломестной плоскости для таких антенн описаны в Рекомендации МСЭ-R F.1336. В случае необходимости, при оценке помех можно вычислить наклон нисходящего луча антенн.

В случае цифровой модуляции помехи абонентским станциям в системах ФС P-MP также должны вычисляться согласно разделу 2. Для данного случая обычно предполагается, что азимутальные направления антенн абонентских станций однородно распределены в диапазоне 0°–360°, с оговоркой, что предотвращение пересечения орбиты для этих систем, как правило, невозможно.

# 5 Испытательная зона

Большое количество трасс и станций ФС (для обеспечения стабильности и конвергенции статистических данных) в произвольном порядке распределяются по широте, долготе и азимуту в испытательной зоне, определяемой пользователем. В целях обеспечения равномерного воздействия на все углы прихода, показатель долготы испытательной зоны должен являться целым кратным расстоянию между спутниками в случае равномерно разнесенных спутников, а показатель широты испытательной зоны должен быть достаточно большим. Возможен и вариант, когда испытательная зона может быть определена как включающая ту или иную административную территорию таким образом, что параметры, соответствующие системам этой администрации, могут быть вычислены. В этом случае местоположения спутников могут быть указаны.

# 6 Созвездие спутников

При исследовании новой спутниковой службы обычно предполагается орбита, полностью занятая равномерно разнесенными спутниками. В ином случае определяемые пользователем местоположения спутников должны быть согласованы. Другой вариант позволяет произвольное расположение спутников в пределах заданной дуги орбиты.

Данная модель позволяет обеспечить предотвращение пересечения орбиты в тех ситуациях, когда этот метод практически применим для ФС. Как правило, этот метод не дает преимуществ для систем ФС при повсеместном развертывании.

# 7 Маска плотности потока мощности (ппм)

Предполагается, что все спутники передают максимальные уровни сигнала, разрешенные предполагаемой маской ппм. Это осторожное предположение в отношении уровня помех. Маска состоит из прямолинейных сегментов ппм в функции угла прихода (от 0° до 90°). Модель должна предусматривать возможность указания множества сегментов.

Также могут быть получены статистические маски ппм для определения площади покрытия в зоне обслуживания спутника. Требуется проведение дальнейших исследований.

# 8 Параметры ФС

При компьютерном моделировании должны быть указаны коэффициент шума (либо уровень теплового шума) и потери в фидере, общие для всех станций ФС. Кроме того, необходимо указать общее усиление и диаграмму направленности антенны. В файл антенн для выбора пользователем могут быть включены следующие диаграммы направленности антенн по умолчанию, например:

– Рекомендация МСЭ-R F.1245, п. 2 раздела *рекомендует*, для систем Р-Р при совпадающей поляризации с помехами.

– Рекомендация МСЭ-R F.1245, Примечание 7, для систем Р-Р при взаимодействии главных лепестков обеих служб, имеющих линейную круговую поляризацию.

– Рекомендация МСЭ-R F.1245, Приложение 1, для систем Р-Р с синус-квадратичной структурой в боковых лепестках диаграммы.

– Рекомендация МСЭ-R F.699 для систем Р-Р при совпадающей поляризации с источниками помех.

– Рекомендация МСЭ-R F.1336 для антенн центральных станций систем Р-МР.

– Рекомендация МСЭ-R F.1336 для антенн абонентских станций систем Р-МР.

Кроме того, данный алгоритм должен допускать выбираемые пользователями диаграммы направленности антенн, которые могут состоять, к примеру, из основного лепестка, определяемого шириной луча 3 дБ, с избирательностью, изменяющейся пропорционально квадрату внеосевого угла, и переходом в область кусочно-линейного бокового лепестка (на логарифмической шкале внеосевого угла). Эти определяемые пользователями диаграммы направленности можно ввести в библиотеку файлов диаграмм направленности антенн для будущих применений.

# 9 Прочие аспекты

## 9.1 Критерии помех

Для полос, где замирание связано с многолучевым распространением, Рекомендация МСЭ-R F.758 указывает, что в принципе уровень помех относительно теплового шума приемника не должен превышать –10 дБ (или –6 дБ). В случае цифровых систем ФС эти значения соответствуют *FDPhop* 10% (или 25%), соответственно. Рекомендуется, по возможности, применять значение –10 дБ. Однако было установлено, что в некоторых сложных случаях совместного использования частот весьма трудно с точки зрения упрощения совместного использования частоты применять значение  
–10 дБ. Например, Рекомендации МСЭ-R М.1141 и МСЭ-R М.1142, в которых рассматриваются вопросы совместного использования частот системами ФС и космическими станциями (геостационарными или негеостационарными) ПСС в диапазоне 1–3 ГГц, основаны на требовании использовать значение –6 дБ.

При статистической оценке помех необходимо выбрать определенный допустимый процент станций или трасс, для которых суммарная помеха может превышать критерий помех. Предпочтительно, чтобы этот процент был как можно меньше, однако было установлено, что в некоторых сложных ситуациях совместного использования частот весьма трудно применять слишком малый допустимый процент. Например, в таких ситуациях 10% рассматриваемых приемников ФС могли бы быть подготовлены, чтобы допускать помехи, превышающие предпочтительный критерий помех. Подобным образом может быть найден определенный допустимый процент трасс, для которых частичное ухудшение качественных показателей (FDP) может превышать критерий FDP.

Таким образом, указываются две пары критериев качества:

|  |  |
| --- | --- |
| Показатель *I*/*N* приемника | Процент приемных станций, в которых допускается превышение показателя приемника |
| Показатель FDP трассы | Процент трасс, в которых допускается превышение показателя трассы |

В данной ситуации может применяться любая или обе из этих пар критериев качества.

## 9.2 Ослабление на трассе распространения

Уровни минимального ослабления на трассе распространения в атмосферных газах для использования в исследованиях возможности совместного использования частот системами ФС и спутниками в различных космических службах приводятся в Рекомендациях МСЭ-R SF.1395 и МСЭ‑R F.1404.

## 9.3 Слегка наклоненные орбиты

Спутниковая служба для почти всенаправленных антенн позволяет операторам спутниковой связи экономить топливо за счет ослабления усилий по удержанию станций на орбите в направлении Север-Юг и позволяет спутникам использовать слегка наклоненные орбиты. Благодаря этому углы прихода помех по отношению к наземным сетям ежедневно изменяются, в сущности, расширяя в какой-то отрезок времени дугу орбиты ниже статичного радиогоризонта и увеличивая в другой отрезок времени угол прихода (и, следовательно, ппм) помех от спутников выше горизонта. Простой механизм для оценки этого явления заключается в изменении, для целей расчетов, широты станции ФС: можно определить номинальную широту станции, номинальную широту станции плюс максимальное наклонение орбиты и номинальную широту станции минус максимальное наклонение орбиты.

# 10 Выходные результаты

Требуемыми выходными результатами являются функции распределения вероятностей суммарного отношения *I*/*N* или FDP для отдельных станций ФС (*FDPhop*) и FDP на трассе (*FDProute*). Дополнительные результаты включают {*I*/*N*, азимут}, {*I*/*N*, угол прихода} для представления на диаграммах рассеяния. Последний результат может использоваться при синтезе маски ппм. Эти факультативные результаты не требуют никакой дополнительной обработки, поскольку параметры уже рассчитаны.

Дополнение 1  
к Приложению 1  
  
Модель программного обеспечения для вероятностной оценки помех  
на основе многопролетной системы связи Р-Р

# 1 Введение

В полосах частот, в которых планируется использовать вероятностную методику помех, ФС является существующей службой, в то время как спутниковая служба – это неизвестная новая система. Таким образом, логично, что при присвоении параметров в модели программного обеспечения необходимо установить максимально возможное количество параметров ФС и изменить параметры спутниковой службы.

В данной модели подход с использованием зоны покрытия совмещается со статистическим анализом помех ряда отдельных станций и трасс. Первичное развертывание спутников представляет собой развертывание равномерно расположенных спутников со стандартными масками ппм. Данный вид можно допустить для простоты, отмечая, что это консервативный подход. Возможны варианты, когда местоположение спутников либо определяется пользователями, либо их развертывание является произвольным. Предполагается использование прямой линии, гладкой сферической земли, геометрических соотношений.

# 2 Входные параметры модели

## 2.1 Параметры спутников

– Маска ппм {точки прерывания углов прихода/уровни ппм}; предполагается наличие линейных сегментов, определенное количество точек прерывания, указываемых пользователем, общее для всех спутников.

– Равномерное размещение спутников на геостационарной спутниковой орбите (должен быть делитель целого числа 360°), полная орбита; (как вариант можно ввести определенные местоположения на орбите либо случайным образом расположить спутники в указанной дуге орбиты).

– Наклонение орбиты (например, 0° или 5°) применяется ко всем спутникам.

## 2.2 Критерии качества ФС

– Требуемый уровень защиты (например, *FDProute* = 10% или 25%, *I*/*N* станции = −10 дБ или −6 дБ).

## 2.3 Параметры испытательной зоны ФС

– Пределы долготы, пределы широты.

– Модель потерь в атмосфере (выбор из меню, касающийся потерь в атмосфере, применимых к мощности помех, основанных на угле прихода и геоклиматической области; нуль, если значение отсутствует).

– Модель преломления (выбор из меню моделей, относящихся максимальных углов преломления, широты и геоклиматической области; нуль, если значение отсутствует).

– Модель замирания сигнала при дожде, если применима, т. е. если замирание при дожде должно применяться к мощности помех (выбор из меню применимых уровней замирания при дожде, угла прихода и зависимостей внеосевого угла и геоклиматической области; нуль, если значение отсутствует).

(Дальнейшее исследование требуется для формирования подходящих меню вышеупомянутых моделей явлений низкого угла прихода, основанных на Рекомендациях МСЭ-R, с учетом того что в целом эти явления в значительной степени затрагивают только ближайшие наихудшие случаи воздействий и что уровень этих воздействий снижается при использовании вероятностного подхода).

## 2.4 Параметры станции ФС

– Угол предотвращения пересечения орбиты (нуль, если значение отсутствует).

– Количество трасс в зоне помех:

– Минимальное и максимальное количество пролетов на трассу: получившееся общее количество станций (Σ*all routes* (количество станций на трассу)) должно быть настолько большим, насколько позволяют память компьютера и ограничения скорости.

– Минимальная и максимальная длина пролета (не требуется при анализе единственной станции).

– Максимальное изменение азимута в отношении трендовой линии трассы (не требуется при анализе единственной станции).

– Параметры станции, различные типы станций требуют отдельных прогонов. В рамках прогона следующие параметры являются общими для всех станций:

– Усиление и диаграмма направленности антенны (из приведенного списка (включая такие опции, как линейная/круговая развязка и структура бокового лепестка антенны), должно иметься средство для ввода в список других антенн).

– Потери в фидере.

– Коэффициент шума.

– Квантованная функция распределения угла места (от *ei–*1 до *ei*, вероятность). Предполагается наличие максимума из 100 пар в диапазоне углов места и вероятность значений событий для каждого распределения (от *i* = 1 до *Ielev\_max*) с оговоркой, что для различных типов станций, вероятно, будут различные статистические показатели угла места (большие антенны обычно используются в случае, когда для компенсации высоких потерь на весьма протяженной трассе требуется большое усиление, весьма протяженные трассы подразумевают низкие углы места). Распределение углов места должно быть симметрично относительно нулевого угла места.

# 3 Процесс выбора параметров

Установите взвешенный список из ста записей (соответствующий процентным значениям) для распределения углов места. Случайный указатель с однородным распределением выбирает угол места каждой станции.

(Символ "**⇒<1 >**" указывает на начало линии 1; "*RANDx*" = случайное число с однородным распределением между 0 и 1.)

**⇒ < 1 >** Выберите отправные точки и трендовые линии трассы (рандомизация параметров):

– *latitude* (широта) = *latitude*(*min*) + *RAND*1 \* (*latitude*(*max*) – *latitude*(*min*));

– *longitude* (долгота) = *longitude*(*min*) + *RAND*2 \* (*longitude*(*max*) – *longitude*(*min*));

– trend\_line\_azimuth = *RAND*3 \* 360, если только одно направление передачи соответствует условию = 90 + *RAND*3 \* 180, если оба направления передачи подвергаются действию спутниковых помех от одной и той же спутниковой службы; направление трассы "вперед" (азимут трендовой линии от 90°–180° до 270°) обратно направлению передачи "возврат" (от 270°–0° до 90°), а наибольшее значение из двух показателей ухудшения определяет качественные показатели трассы;

– *number of hops* (т. е. количество пролетов) = *hop*(*min*) + *RAND*4\*(*hop*(*max*) − *hop*(*min*)).

(Для анализа единственной станции (т. е. минимальное количество пролетов = максимальное количество пролетов = 1) азимут трендовой линии представляет собой азимут станции, и предполагается, что станция является приемником.)

Выберите местоположения станций:

– Местоположение первой станции совпадает с отправной точкой трассы; предполагается, что первая станция является передающей в этом контексте, если только на трассе не расположена всего лишь одна станция.

**⇒ < 2 >** для второй и последующих станций на трассе:

– *azimuth* (азимут) = trend\_line\_azimuth + (2 \* *RAND*5-1) \* maxhop\_azimuth\_variation;

– *elevation angle* (угол места)= среднее значение диапазона, указываемое с помощью "Nearest\_integer{100 \* RAND6}".

Проверьте, имеет ли место предотвращение пересечения орбиты (отмечая, что станции с углами места выше нуля могут пересечь орбиту выше точки горизонта). Если предотвращение пересечения применяется и направление главного луча станции находится в пределах угла предотвращения пересечения, отклоните станцию, перейдите к **< 2 >**;

– *hop length* (длина пролета) = *hop length*(*min*) + *RAND*7 \* (*hop length*(*max*) – *hop length*(*min*));

– Определите широту и долготу станции.

Если станция находится вне испытательной зоны, отклоните местоположение станции. Перейдите к **< 2 >**.

Повторите для всех пролетов на трассе. Перейдите к **< 2 >**.

Повторите для всех трасс в указанной зоне. Перейдите к **<** **1 >**; обратите внимание, что, если необходимо рассчитать помехи в обоих направлениях передачи, на направлении трассы "возврат" будет иметься список с обратным расположением станций, дополнительных азимутов и дополнительных углов места по сравнению с параметрами трассы в направлении "вперед".

Сохраните набор параметров станции ФС {{ФС}} = {{тип (усиление и диаграмма направленности антенны, коэффициент шума, потери в фидере), номер трассы, местоположение станции (широта, долгота), азимут, угол места}}.

Для равномерно разнесенных спутников справочная долгота созвездия выражена относительно средней долготы испытательной зоны "*longmid*". Сгенерируйте местоположения спутников.

– *satellite longitude longm* = *longmid* + *m* \* (360/number\_of\_satellites),

*m* = 0 to (number\_of\_satellites – 1).

Для спутников, расположенных случайным образом:

– *satellite longitude longm* = *min arc longitude* + *RAND*8 \* (*max arc longitude* – *min arc longitude*).

**⇒** **<3>** Для каждой трассы.

**⇒** **<4>** Для каждой станции на трассе.

**⇒** **<5>** Для каждого спутника в созвездии.

– рассчитайте номинальный угол прихода для спутника, рассчитайте углы прихода при максимальных и минимальных сдвигах наклонения орбиты, учитывая преломление;

– если какой-либо из этих углов прихода имеет более отрицательное значение, чем угол преломления, прикрепите маркер "игнорировать" для будущих расчетов. Если все углы прихода имеют более отрицательное значение, чем угол преломления, перейдите к **<5>** для выбора следующего спутника; или же

– рассчитайте внеосевые углы, усиление антенны, рассчитайте максимум из трех значений *I*/*N*|*single entry* {как отношение мощностей}, принимая во внимание, при необходимости, ослабление в атмосфере (функция угла прихода) и замирание сигнала при дожде (функция внеосевого угла и угла прихода).

Перейдите к **< 5 >**, следующий спутник.

– рассчитайте *I*/*N*|*aggregate* = Σ*all satellites* (*I*/*N*|*single entry*), *I*/*N*|*station* = 10 log(*I*/*N*|*aggregate*) (дБ)

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В Дополнении 2 к данному Приложению приводится более полное описание вычисления *I*/*Naggregate*.

Перейдите к **< 4 >**,следующая станция на трассе.

– рассчитайте *FDProute* = Σ*all stations* (*I*/*N*|*aggregate*)/*n* ...…сумма по всем станциям *n* на трассе.

Перейдите к **< 3 >**,следующая трасса.

– сгенерируйте функцию распределения вероятностей (pdf) значений *I*/*N*|*aggregate* станции путем создания упорядоченного списка значений от самого высокого до самого низкого, нумерации списка записей, т. е. (*j*, *I*/*N*|*j*: от *j*= 1 до *J*), тогда {100\**j*/*J*} является процентилем, соответствующим значению *I*/*N*|*j*, в силу чего все последующие станции имеют более высокие (низкие) показатели качества, чем *I*/*N*|*j*. Подобным образом сгенерируйте функцию pdf для FDP трассы;

– определите из функций pdf:

– процент станций или трасс, в зависимости от ситуации, при соответствующем критерии показателей качества ("%stations\_at\_I/Ncriterion" и "%routes\_at\_FDPcriterion"); и

– значение *I*/*N* или FDP, в зависимости от ситуации, при определенном проценте станций или трасс, соответственно ("I/N\_at\_Pstation" и "FDP\_at\_Proute");

– выведите функции распределения вероятностей *I*/*N* станции и FDP трассы: {значение *I*/*N*, вероятность *I*/*N* превышается}: {FDP значение, вероятность FDP превышается} для получения графика. Выведите полученные выше значения: "%stations\_at\_I/Ncriterion", "%routes\_at\_FDPcriterion", "I/N\_at\_Pstation" и "FDP\_at\_Proute".

# 4 Комментарий

Графическое представление вышеупомянутого процесса приведено на рисунке 1.

РИСУНОК 1

Упрощенное графическое представление алгоритма



Критерий испытаний "I/N\_at\_Pstation" указывает, насколько необходимо уменьшить значения для маски ппм. Предположим, например, что необходимо поддерживать переход от уровня ппм для первоначального низкого угла прихода к уровню ппм для высокого угла прихода. Если для приемлемого качества 90% станций значение *I*/*N* должно быть меньше или равно –10 дБ и если критерий испытаний "I/N\_at\_Pstation" (дБ) превышает это значение, то значения маски ппм должны быть уменьшены на разницу {"I/N\_at\_Pstation" – (–10)} для соответствия данному критерию. Точно так же, если для приемлемого качества 90% трасс значение FDP должно быть меньше или равно 25% и если критерий испытаний "FDP\_at\_Proute" (%) превышает это значение, то значения маски ппм должны быть уменьшены на разницу {10 log("(FDP)\_at\_Proute /100") – 10 – 10 log(0,25)} для соответствия данному критерию.

Диаграмма рассеяния рассчитанных значений *I*/*N* относительно угла прихода позволила бы при необходимости разработать различные виды перехода.

Если потребуется получить реальную картину, вместо случайного набора станций и созвездия с равномерным расположением спутников необходимо будет ввести фактическую базу данных приемных станций ФС и/или известное созвездие спутников. Безусловно, допущение этих вариантов должно быть сделано в программах ввода данных.

Дополнение 2  
к Приложению 1  
  
Определение *I*/*Naggregate* для индивидуальных приемников ФС

Методика основана на следующем алгоритме:

− рассмотрение заданного расстояния между геостационарными спутниками, *Longref* = 360/nb\_sat;

− рассмотрение заданной маски ппм, применимой ко всем геостационарным спутникам;

− рассмотрение заданной широты и долготы системы ФС:

– для каждого азимута ориентации ФС (варьирующегося от 0° до 360°);

– для каждой относительной долготы созвездия спутников (Δ*long* варьируется от 0° до *Longref*);

− расчет суммарных помех на входе приемника ФС со стороны всех видимых геостационарных спутников;

− расчет результирующего отношения *I*/*N* в приемнике ФС:



где:

|  |  |
| --- | --- |
|  | результирующее суммарное отношение *I*/*N* в приемнике ФС со стороны всех видимых геостационарных спутников, Δ*long* – относительная долгота созвездия спутников, а *azimuth* – азимут ориентации антенны станции ФС; |

*pfdi(*Δ*long)* : ппм на станции ФС от видимого геостационарного спутника *i*;

θ*i(azimuth*, Δ*long)* : внеосевой угол между направлением ориентации антенны ФС и направлением, в котором виден *i*-й спутник со станции ФС (в случае центральных станций систем Р-МР, θ*i(azimuth*, Δ*long)*, должен быть заменен на *elevi(*Δ*long)*, представляющий собой разницу между углом места ориентации антенны ФС и углом места, под которым виден *i*-й спутник. Если углы места станций ФС с направленными антеннами не равны нулю, внеосевой угол меняется соответствующим образом;

*G*(θ) : усиление антенны ФС для внеосевого угла θ;

λ : длина волны;

*FL* : потеря в фидере ФС;

*vis :* количество спутников, видимых со станции ФС;

*N :* тепловой шум приемника ФС.

Это позволяет определить таблицу значений *I*/*N* (или FDP) на приемной станции ФС в функции азимута ориентации станции ФС и относительной долготы созвездия спутников и, следовательно, функции плотности вероятности *I*/*N* или *FDPhop* станции ФС или трассы *FDProute* станции ФС (все трассы расположены в пределах заданной испытательной зоны) для заданной маски ппм и разнесения геостационарных спутников.

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

1. \* Настоящая Рекомендация должна быть доведена до сведения 4-й, 6-й и 7-й Исследовательских комиссий радиосвязи. [↑](#footnote-ref-1)