

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R S.1503-2 (12/2013)

**Функциональное описание, которое
следует использовать при разработке
программных средств для определения
соответствия сетей негеостационарных
спутниковых систем фиксированной
спутниковой службы ограничениям,
указанным в Статье 22
Регламента радиосвязи**

**Серия S
Фиксированная спутниковая 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-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции МСЭ-R 1. 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-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-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 МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2015 г.

© ITU 2015

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 S.1503-2

Функциональное описание, которое следует использовать при разработке программных средств для определения соответствия сетей негеостационарных спутниковых систем фиксированной спутниковой службы ограничениям, указанным в Статье 22 Регламента радиосвязи

(2000-2005-2013)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации дается функциональное описание программных средств для использования Бюро радиосвязи МСЭ при рассмотрении заявлений систем НГСО ФСС на предмет их соответствия пределам достоверности, указанным в Регламенте радиосвязи.

Ключевые слова

э.п.п.м.; НГСО; методика.

Сокращения/гlossарий

Угол альфа (α) – минимальный угол на земной станции (ЗС) ГСО между линией к спутнику НГСО и линиями к дуге ГСО.

Маска э.и.и.м. – маска эквивалентной изотропно излучаемой мощности, используемая для определения излучений земных станций НГСО при расчете э.п.п.м. (вверх) или излучений спутника НГСО для расчета межспутниковой (IS) э.п.п.м.

э.п.п.м. – эквивалентная плотность потока мощности, как определено в п. **22.5С.1** РР, применимая к следующим трем случаям:

э.п.п.м. (вниз) – излучения от спутниковой системы НГСО, направленные на земную станцию спутниковой связи ГСО;

э.п.п.м. (вверх) – излучения от земной станции НГСО, направленные на спутник ГСО;

э.п.п.м. (IS) – межспутниковые излучения от спутниковой системы НГСО, направленные на спутниковую систему ГСО.

Маска п.п.м. – маска плотности потока мощности, используемая для определения излучений спутника НГСО при расчете э.п.п.м. (вниз).

Угол X (X) – минимальный угол места спутника ГСО между линией от земной станции ГСО и линиями к дуге ГСО.

WCG – геометрия наихудшего случая – расположение земной станции ГСО и спутника ГСО, которое, как предполагает анализ, обусловит наибольшие значения э.п.п.м. единичной помехи для заданных входных сигналов.

Соответствующие Рекомендации МСЭ-R

Рекомендация МСЭ-R ВО.1443-2	Эталонные диаграммы направленности антенн земных станций РСС для использования с целью оценки помех, вызываемых спутниками НГСО в полосах частот, охватываемых Приложением 30 к РР
Рекомендация МСЭ-R S.672-4	Диаграмма направленности спутниковой антенны, применяемая в качестве нормативной при проектировании фиксированной спутниковой службы, использующей геостационарные спутники
Рекомендация МСЭ-R S.1428-1	Эталонные диаграммы направленности земных станций ФСС для использования в процессе оценки помех в ситуациях с негеостационарными спутниками в полосах частот между 10,7 ГГц и 30 ГГц

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что ВКР-2000 приняла в Статье **22** Регламента радиосвязи (РР) предельные уровни единичной помехи, применимые для негеостационарных спутниковых (НГСО) систем фиксированной спутниковой службы (ФСС) в определенных полосах диапазона частот 10,7–30 ГГц для защиты сетей на геостационарной спутниковой орбите (ГСО), работающих в тех же полосах частот, от недопустимых помех;
- b) что в настоящее время эти полосы частот используются или планируются для широкого использования геостационарными спутниковыми системами (ГСО системами);
- c) что согласно пп. **9.35** и **11.31** Бюро радиосвязи (БР) рассматривает системы НГСО ФСС в отношении их соответствия пределам э.п.п.м. единичной помехи, указанным в таблицах 22-1А, 22-1В, 22-1С, 22-1D, 22-1Е, 22-2 и 22-3 Статьи **22** Регламента радиосвязи (РР);
- d) что для проведения регламентарного рассмотрения, о котором говорится в пункте c) раздела *учитывая*, БР необходимы программные средства, позволяющие вычислять уровни мощности, создаваемые такими системами, на основе конкретных характеристик каждой системы НГСО ФСС, представленной на рассмотрение Бюро для координации или заявления, в зависимости от ситуации;
- e) что системы ГСО ФСС и ГСО радиовещательной спутниковой службы (РСС) имеют различные характеристики и что для множества комбинаций антенных характеристик, уровней помех и значений вероятности потребуется проведение оценок помех;
- f) что проектировщикам спутниковых сетей (НГСО ФСС, ГСО ФСС и ГСО РСС) требуется знание основных принципов, согласно которым БР будет проводить такие проверки;
- g) что такие программные средства, возможно, уже разработаны или находятся в стадии разработки и могут быть предложены для БР,

рекомендует,

1 чтобы для разработки программных средств по вычислению уровней мощности, создаваемых системами НГСО ФСС, и по проверке соответствия этих уровней пределам, указанным в таблицах 22-1А, 22-1В, 22-1С, 22-1D, 22-1Е, 22-2 и 22-3 Статьи **22** РР, использовалось функциональное описание, представленное в Приложении 1.

Приложение 1

Функциональное описание программного обеспечения для использования БР при проверке соответствия систем НГСО ФСС предельным уровням э.п.п.м.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ЧАСТЬ А – Основные ограничения и допущения	3
ЧАСТЬ В – Входные параметры	9
ЧАСТЬ С – Расчет масок п.п.м./э.и.и.м.	21
ЧАСТЬ D – Программное обеспечение для рассмотрения заявок на регистрацию НГСО систем	39
ЧАСТЬ E – Проверка надежности выходных данных программного обеспечения.....	113
ЧАСТЬ F – Программное обеспечение для реализации настоящей Рекомендации	115

ЧАСТЬ А

Основные ограничения и допущения

1 Общие положения

1.1 Цель

Программно-реализованный алгоритм, описанный в данном Приложении, предназначен для применения БР при рассмотрении заявлений систем НГСО ФСС на предмет их соответствия пределам, указанным в таблицах 22-1А, 22-1В, 22-1С, 22-1D, 22-1Е, 22-2 и 22-3 Статьи 22 РР.

При определенных условиях этот алгоритм позволяет определить необходимость координации между системами НГСО ФСС и крупными земными станциями согласно Статьям 9.7А и 9.7В с помощью критериев, изложенных в Приложении 5 к РР.

Описанный в данной Рекомендации алгоритм разработан на основе эталонного спутника ГСО, находящегося на экваториальной орбите с нулевым углом наклона. Анализ, используемый для определения соответствия спутниковой системы НГСО пределам э.п.п.м., указанным в Статье 22 РР, осуществляется путем расчета уровней э.п.п.м. на данном эталонном спутнике или на направленной на него земной станции. Спутниковая система ГСО, работающая при других углах наклона, может быть спрогнозирована на прием более высоких уровней э.п.п.м. без учета спутниковой системы НГСО, что является нарушением пределов, указанных в Статье 22. Анализ согласно пп. 9.7А и 9.7В РР предназначен однако для определения необходимости координации путем сравнения с пороговым уровнем, указанным в Приложении 5 к РР; следовательно, в этом случае другие методики, в том числе предполагающие ненулевое наклонение спутника ГСО, могут считаться приемлемой альтернативой.

1.2 Блок-схема программного обеспечения

Блок-схема программно-реализованного алгоритма, описанного в данном Приложении, показана на рисунке 1. Она включает в себя исходные данные и расчеты для заявляющей администрации и БР. Секция данных содержит полный набор параметров, относящихся к заявленной НГСО системе, набор эталонных параметров ГСО системы, а также предельные уровни э.п.п.м., которые предоставляет БР.

Секция расчетов предназначена для оценок, необходимых при рассмотрении соответствия заявленных НГСО систем предельным уровням э.п.п.м. Секция расчетов основана на концепции маски плотности потока мощности (п.п.м.) на линии вниз (см. примечание 1), маски эффективной изотропно излучаемой мощности (э.и.и.м.) на линии вверх (см. примечание 2) и маски межспутниковой э.и.и.м. (см. примечание 3).

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Маска п.п.м. – это максимальная п.п.м., создаваемая НГСО космической станцией, и определяется она в части С.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Маска э.и.и.м. – это максимальная э.и.и.м., излучаемая НГСО земной станцией; она является функцией внеосевого угла для главного луча передающей антенны.

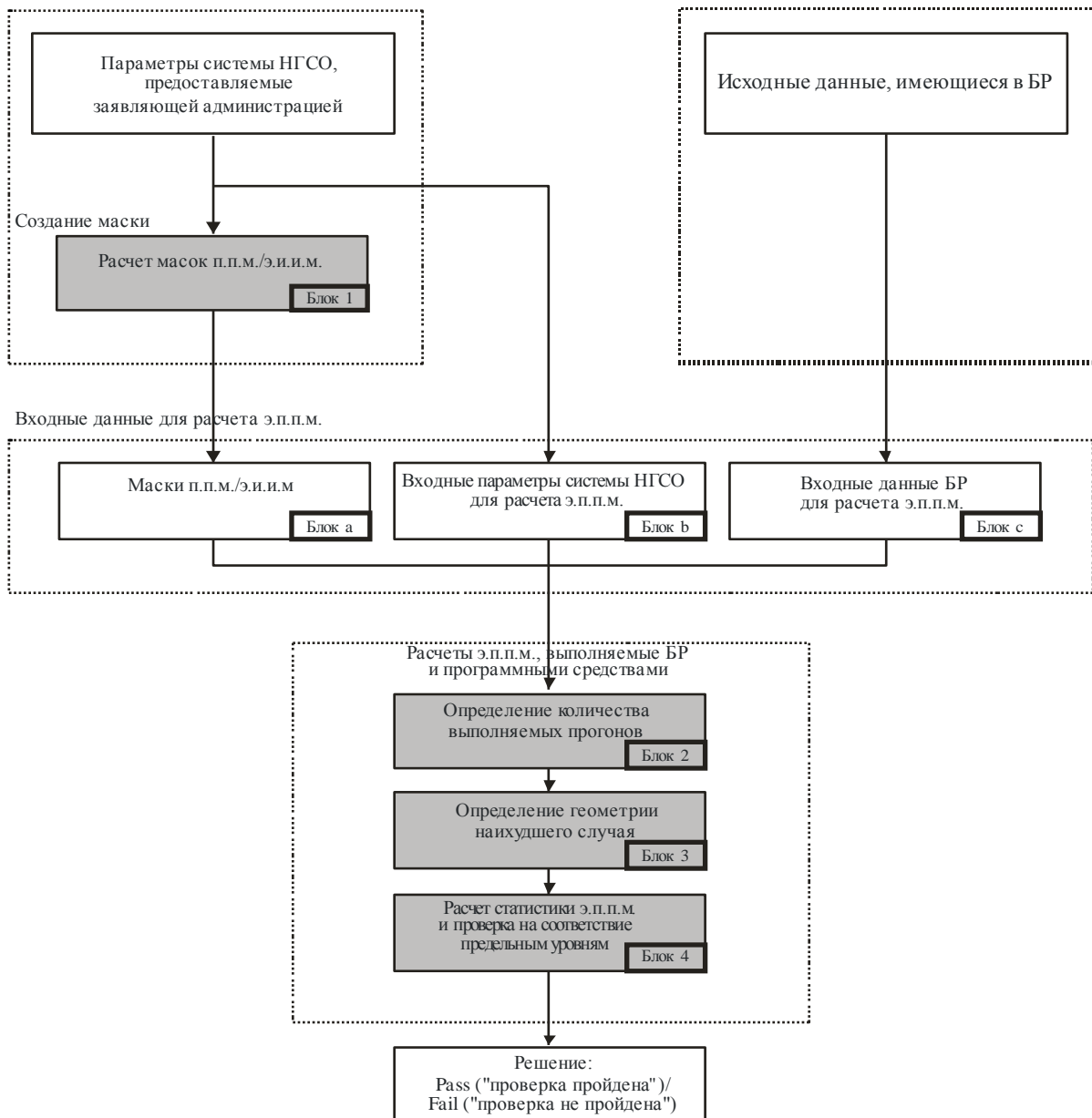
ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Маска межспутниковой э.и.и.м. – это максимальная э.и.и.м., излучаемая НГСО космической станцией; она является функцией внеосевого угла для опорного направления или углов (азимута, места) НГСО космической станции.

Маски п.п.м./э.и.и.м. рассчитываются подающей заявку администрацией, как определено в блоке 1, и затем вместе с другими параметрами системы НГСО поступают в блоки а и б. Дополнительные параметры предоставляет БР, в частности предельные уровни э.п.п.м. в блоке с.

РИСУНОК 1

Этапы проверки э.п.п.м. Основные логические блоки

Этапы, выполняемые заявляющей администрацией,
подающей заявку на регистрацию



S.1503-01

1.3 Распределение ответственности между администрациями и БР в отношении использования программного обеспечения

Учитывая значительную сложность, связанную с конкретными особенностями отображения различных конфигураций НГСО системы в программном обеспечении, целесообразно, по-видимому, возложить определенное бремя ответственности, относящейся к проверке предельных уровней э.п.п.м., на администрации, заявляющие соответствующие НГСО системы. Поэтому процедура рассмотрения на предмет выполнения пределов э.п.п.м. будет состоять из двух этапов. Первый этап включает расчет маски для п.п.м./э.и.и.м., создаваемой мешающими НГСО станциями сети. Данная маска учитывает все особенности схем расположения конкретных НГСО систем (например, возможное наведение луча и передаваемые мощности). Первый этап завершается передачей в БР маски п.п.м./э.и.и.м.

Расчеты на втором этапе осуществляются в БР. Второй этап включает следующие операции:

- определение количества прогонов, необходимых для сети НГСО с учетом частот, для которых она зарегистрирована, и диапазонов частот, для которых установлены пределы э.п.п.м. в Статье 22 (блок 2);
- определение геометрии расположения космической станции ГСО сети и земной станции этой сети для максимального уровня э.п.п.м. (блок 3). При этом обеспечивается проверка возможности совместного использования полос частот заявленной НГСО сетью и любой ГСО сетью в рамках ФСС и РСС;
- расчет статистики э.п.п.м. (блок 4);
- принятие решения о соответствии помех надлежащим предельным уровням э.п.п.м.

Расчеты основываются на параметрах НГСО системы (блоки а и b), предоставленных заявляющей администрацией, и исходных данных (блок с), имеющихся в БР.

Любая администрация может применять программное обеспечение, в котором используются алгоритмы, определенные в этом Приложении, наряду с данными о НГСО сетях для расчета статистики помех в ее собственных ГСО сетях и для проверки соответствия помех предельным уровням э.п.п.м. Это поможет разрешению возможных разногласий между БР и заинтересованными администрациями.

Далее приводится подробное описание элементов рассматриваемой блок-схемы программного обеспечения. В указанных ниже частях настоящего документа рассматриваются следующие вопросы.

- Часть А – представлены основные ограничения и главные требования системы к программному обеспечению в целом.
- Часть В – обсуждаются параметры НГСО сетей и исходные данные для блоков а и b.
- Часть С – представлены определения и алгоритмы расчетов для масок п.п.м./э.и.и.м., относящихся к земным и космическим станциям НГСО сети. Обсуждаются также особенности масок, применяющихся при моделировании (блок 1).
- Часть D – в этой части рассматриваются общие требования к программному обеспечению, касающиеся изучения заявлений НГСО сетей, алгоритмов для расчета статистики э.п.п.м., а также формат для представления выходных данных. Часть D охватывает вопросы блоков 2, 3 и 4.
- Части E, F – В этих частях определяются требования к программному обеспечению, относящиеся к оценке полученного программного обеспечения, и к проверке выходных данных программного обеспечения на достоверность.

2 Основные допущения

2.1 Единицы измерения

Чтобы обеспечить адекватные результаты моделирования и избежать ошибок, в таблице 1 для описания программного обеспечения используется общая система единиц измерения. Перечень единиц измерения для основных физических параметров приведен в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1

Система единиц измерения для основных физических параметров, используемых при описании характеристик программного обеспечения

Параметр	Единицы измерения
Расстояние	км
Угол	градусы
Время	с
Линейная скорость вращения	км/с
Угловая скорость вращения	градусы/с
Частота	Гц
Ширина полосы частот	кГц
Мощность	дБВт
Спектральная плотность мощности	дБ(Вт/Гц)
п.п.м.	дБ(Вт/(м ² · BW _{ref}))
Среднее количество НГСО земных станций на совпадающей частоте в единичной зоне	1/км ²
э.п.п.м.↓, э.п.п.м.↑ или э.п.п.м.±	дБ(Вт/BW _{ref})
Усиление антенны	дБи
Географическое положение на поверхности Земли	градусы

2.2 Константы

В функциональном описании программного обеспечения для рассмотрения заявлений НГСО сетей в БР используются следующие константы, показанные в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2

Константы, подлежащие использованию в программном обеспечении

Параметр	Обозначение	Численное значение	Единицы измерения
Радиус Земли	R_e	6 378,145	км
Радиус геостационарной орбиты	R_{geo}	42 164,2	км
Гравитационная постоянная	μ	$3,986012 \times 10^5$	км ³ /с ²
Скорость света	c	$2,99792458 \times 10^5$	км/с
Угловая скорость вращения Земли	ω_e	$4,1780745823 \times 10^{-3}$	градусы/с
Период вращения Земли	T_e	86 164,09054	с
Коэффициент несферичности Земли	J_2	0,001082636	–

2.3 Модель Земли

Основным фактором, определяющим движение спутника на орбите, является сила притяжения Земли. Дополнительные факторы включают:

- изменения орбиты из-за несферичности Земли (сплюснутости у полюсов) и неравномерностей распределения ее массы;
- солнечное и лунное притяжение;

- сопротивление среды для спутника;
- давление, вызванное излучением Солнца, и т. д.

В функциональном описании программного обеспечения в данном Приложении рассматриваются возмущения орбиты, обусловленные только несферичностью Земли. Это объясняется тем, что влияние других возмущающих факторов существенно меньше. Несферичность Земли служит причиной вековых и периодических возмущений долготы восходящего узла и аргумента перигея орбиты. В части D.6.3 описываются выражения для учета влияния несферичности Земли.

Орбиты некоторых повторяющихся проекций движения спутника на поверхность Земли могут быть весьма чувствительны к точности используемой модели орбиты. Администрации могут также предоставить БР их собственные независимо определяемые средние скорости прецессии, которые могут использоваться в программном обеспечении вместо значений, вычисленных с помощью уравнения в части D.6.3.

2.4 Типы группировок

Приведенный в данной Рекомендации алгоритм разработан с учетом возможности применения как минимум для спутниковых систем НГСО, указанных в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3

Классификация типов орбит

Тип	Форма орбиты	Экваториальная?	Повторяющаяся?
A	Круговая	Нет	Да
B	Круговая	Нет	Нет
C	Круговая	Да	Нет данных
D	Эллиптическая	Нет	Да
E	Эллиптическая	Нет	Нет

3 Методика моделирования

Описанный в этом Приложении подход предполагает моделирование во времени, при котором уровни помех оцениваются на основе шага за шагом по времени. В разделе D.4 определяется метод для расчета размера временного шага и общее количество используемых временных шагов. В этом разделе также определяется дополнительный подход, предполагающий использование двойного временного шага для снижения времени прогнозов без изменения конечного решения.

ЧАСТЬ В

Входные параметры

1 Введение

1.1 Общие предпосылки

Определенные параметры для сети НГСО и другие данные должны указываться в целях выполнения необходимых функций программного обеспечения.

- *Функция 1.* Определить маски п.п.м. для спутников НГСО (линия вниз) и маску э.и.и.м. для земных станций, ведущих передачи на эти спутники (линия вверх).
- *Функция 2.* Использовать маску э.и.и.м. при расчете уровней э.п.п.м.↑ на линии вверх и эквивалентных уровней э.п.п.м.↓ на линии вниз (кумулятивные временные распределения э.п.п.м.↑ или э.п.п.м.↓).
- *Функция 3.* Определить (только в случае разногласий) наличие соответствия уровней маски п.п.м./э.и.и.м. основным параметрам передачи сети НГСО.

Роли администрации НГСО сети и БР обсуждаются в п. А.1.3.

Подробные параметры необходимы БР для обеспечения функции 2, и поэтому данный раздел посвящен параметрам, необходимым для выполнения этого требования.

Предоставляемые параметры должны быть согласованы таким образом, чтобы при корректировке сети администрациями, влекущей за собой изменение п.п.м./э.и.и.м., новая маска передавалась в БР.

1.2 Сфера рассмотрения и обзор

В этом разделе определяются входные данные для программного обеспечения в четырех основных пунктах:

- пункт 2 определяет входные данные, получаемые из БР;
- пункт 3 определяет входные данные, получаемые от оператора НГСО, за исключением масок п.п.м./э.и.и.м.;
- пункт 4 определяет маски п.п.м./э.и.и.м.

В прилагаемом документе к части В конкретные параметры преобразуются в базы данных SRS.

Следует отметить, что в приведенных ниже таблицах квадратные скобки в переменных величинах являются указателем, что это переменная величина, а не предварительный текст.

2 Параметры для программного обеспечения, предоставляемые БР

БР предоставляет данные двух видов, к первому из которых относится тип выполняемого прогона.

RunType	Один из {Статья 22, 9.7А, 9.7В}
SystemID	Идентификатор рассматриваемой системы (НГСО или крупная земная станция)

Ко второму виду данных относятся пороговые уровни э.п.п.м. для использования в качестве критериев Pass ("проверка пройдена")/Fail ("проверка не пройдена"). Эти критерии используются программным обеспечением при создании прогонов и состоят из приведенной ниже последовательности записей.

epfdirection	Одно из направлений {вниз, вверх, IS}
VictimService	Одна из служб {ФСС, РСС}
StartFrequencyMHz	Начало диапазона частот, к которому относится пороговый уровень э.п.п.м.
EndFrequencyMHz	Конец диапазона частот, к которому относится пороговый уровень э.п.п.м.
VictimAntennaType	Справочный код для диаграммы направленности антенны, который следует использовать при вызовах библиотеки DLL с диаграммами направленности антенн, предлагаемыми МСЭ
VictimAntennaDishSize	Размер зеркала для диаграммы направленности антенны, подверженной действию помех, который следует использовать при вызовах библиотеки DLL с диаграммами направленности антенн, предлагаемыми МСЭ
VictimAntennaBeamwidth	Ширина лепестка диаграммы направленности антенны, подверженной действию помех, которую следует использовать при вызовах библиотеки DLL с диаграммами направленности антенн, предлагаемыми МСЭ
RefBandwidthHz	Эталонная полоса частот в Гц для уровня э.п.п.м.
NumPoints	Количество точек в маске пороговых уровней э.п.п.м.
epfdthreshold[N]	Уровень э.п.п.м. в дБВт/м ² /эталонная полоса частот
epfdpercent[N]	Процент времени, относящийся к epfdthreshold

3 Входные данные системы НГСО для программного обеспечения

Эти данные подразделяются на параметры группировки и набор параметров орбиты для каждой космической станции.

3.1 Параметры группировки НГСО

N_{sat}	Количество спутников НГСО
H_MIN	Минимальная рабочая высота (км)
DoesRepeat	Флаг, указывающий на то, что группировка повторяет свое исходное движение по трассе, используя удержание станции на орбите для сохранения трассы
AdminSuppliedPrecession	Флаг, указывающий на то, что поле прецессии для модели орбиты группировки предоставляется администрацией
W_{delta}	Диапазон удержания станции на орбите (градусы)
ORBIT_PRECESS	Скорость прецессии, предоставляемая администрацией (градусы/с)
MIN_EXCLUDE	Угол зоны исключения (градусы)
$N_{co}[latitude]$	Максимальное количество спутников НГСО, работающих на одной частоте на широте lat
ES_TRACK	Максимальное количество отслеживаемых спутников НГСО, работающих на одной частоте
ES_MINELEV	Минимальный угол места земной станции НГСО в режиме передачи (градусы)
ES_MIN_GSO	Минимальный угол к дуге ГСО (градусы)
ES_DENSITY	Среднее количество земных станций НГСО (км ²)
ES_DISTANCE	Среднее расстояние между центрами ячеек или контуров диаграмм направленности луча (км)
ES_LAT_MIN	Нижний предел диапазона широт земной станции НГСО (градусы)
ES_LAT_MAX	Верхний предел диапазона широт земной станции НГСО (градусы)

3.2 Параметры космической станции НГСО

A[M]	Большая полуось орбиты (км)
E[M]	Эксцентриситет орбиты
I[M]	Наклонение орбиты (градусы)
O[M]	Долгота восходящего узла орбиты (градусы)
W[M]	Аргумент перигея (градусы)
V[M]	Истинная аномалия (градусы)

4 Маски п.п.м./э.и.и.м.

4.1 Маска п.п.м. на линии вниз для НГСО

FreqMin	Минимальное значение диапазона частот в МГц для данной маски п.п.м.
FreqMax	Максимальное значение диапазона частот в МГц для данной маски п.п.м.
RefBW	Уровень мощности в маске п.п.м. должен быть задан с учетом такой же эталонной полосы частот, как и для пороговых уровней э.п.п.м. в таблицах Статьи 22, в соответствии с охватываемыми диапазонами частот. Если в таблицах Статьи 22 указаны две эталонные полосы частот (например, 40 кГц и 1 МГц), следует использовать меньшую из них
MaskType	Одна из масок { α , X или (az, el)}
Вариант 1 pfd_mask (спутник, широта, α (или X), ΔL)	Маска п.п.м. определяется следующим: <ul style="list-style-type: none"> – спутник НГСО; – широта подспутниковой точки НГСО; – угол разнеса α между данной космической станцией НГСО и дугой ГСО, видимый из любой точки земной поверхности, как определено в п. D.6.4.4; – разность долгот ΔL между подспутниковой точкой НГСО и точкой на дуге ГСО, где угол α (или X) сведен к минимуму, как определено в п. D.6.4.4
Вариант 2 pfd_mask (спутник, широта, az, el)	Маска п.п.м. определяется следующим: <ul style="list-style-type: none"> – спутник НГСО; – широта подспутниковой точки НГСО; – азимутальный угол, как определено в п. D.6.4.5; – угол места, как определено в п. D.6.4.5

4.2 Маска э.и.и.м. на линии вверх для НГСО

FreqMin	Минимальное значение диапазона частот в МГц для данной маски п.п.м.
FreqMax	Максимальное значение диапазона частот в МГц для данной маски п.п.м.
RefBW	Уровень мощности в маске э.и.и.м. должен быть задан с учетом такой же эталонной полосы частот, как и для пороговых уровней э.п.п.м. в таблицах Статьи 22 в соответствии с охватываемыми диапазонами частот. Если в таблицах Статьи 22 указаны две эталонные полосы частот (например, 40 кГц и 1 МГц), следует использовать меньшую из них
NumMasksLat	Количество масок э.и.и.м. для охвата всего диапазона широт
Latitude[Lat]	Широта, используемая в маске ES_e.i.r.p.
ES_ID	Ссылка на ЗС НГСО или -1, если используется общая ЗС
ES_e.i.r.p. [θ][Lat]	Уровень э.и.и.м. земной станции НГСО как функция внеосевого угла и широты

4.3 Маска э.и.и.м. на линии межспутниковой связи для НГСО

FreqMin	Минимальное значение диапазона частот в МГц для данной маски э.и.и.м.
FreqMax	Максимальное значение диапазона частот в МГц для данной маски э.и.и.м.
RefBW	Уровень мощности в маске э.и.и.м. должен быть задан с учетом такой же эталонной полосы частот, как и для пороговых уровней э.п.п.м. в таблицах Статьи 22 в соответствии с охватываемыми диапазонами частот. Если в таблицах Статьи 22 указаны две эталонные полосы частот (например, 40 кГц и 1 МГц), следует использовать меньшую из них
Latitude[Lat]	Широта, используемая в маске SAT_e.i.r.p.
SAT_e.i.r.p.[θ][Lat]	Уровень э.и.и.м. спутника НГСО как функция внеосевого угла и широты

Прилагаемый документ к части В

В таблице 4 приведена текущая информация из Приложения 4 РР для НГСО спутниковых систем, включенная в базу данных системы космических сетей (SNS) БР. Взаимосвязь между таблицами базы данных показана на рисунке 2. Таблицы с информацией о масках и с данными о линиях связи не показаны на рисунке 2, но описываются в таблице 4.

Описание формата

Значение	Описание
X	Используется для описания буквенно-цифровых данных. Например, X(9) обозначает 9-символьное поле, содержащее буквенно-цифровые данные. XXX является эквивалентом X(3)
9	Используется для указания количества знаков
‘.’	Обозначает положение десятичного знака
S	Подразумевает знак (начальный знак – разделитель). Например, S999.99 обозначает числовое поле с диапазоном значений от –999.99 до +999.99. 99 обозначает числовое поле с диапазоном значений от 0 до 99

РИСУНОК 2
Выдержка из схемы взаимосвязи объектов SRS

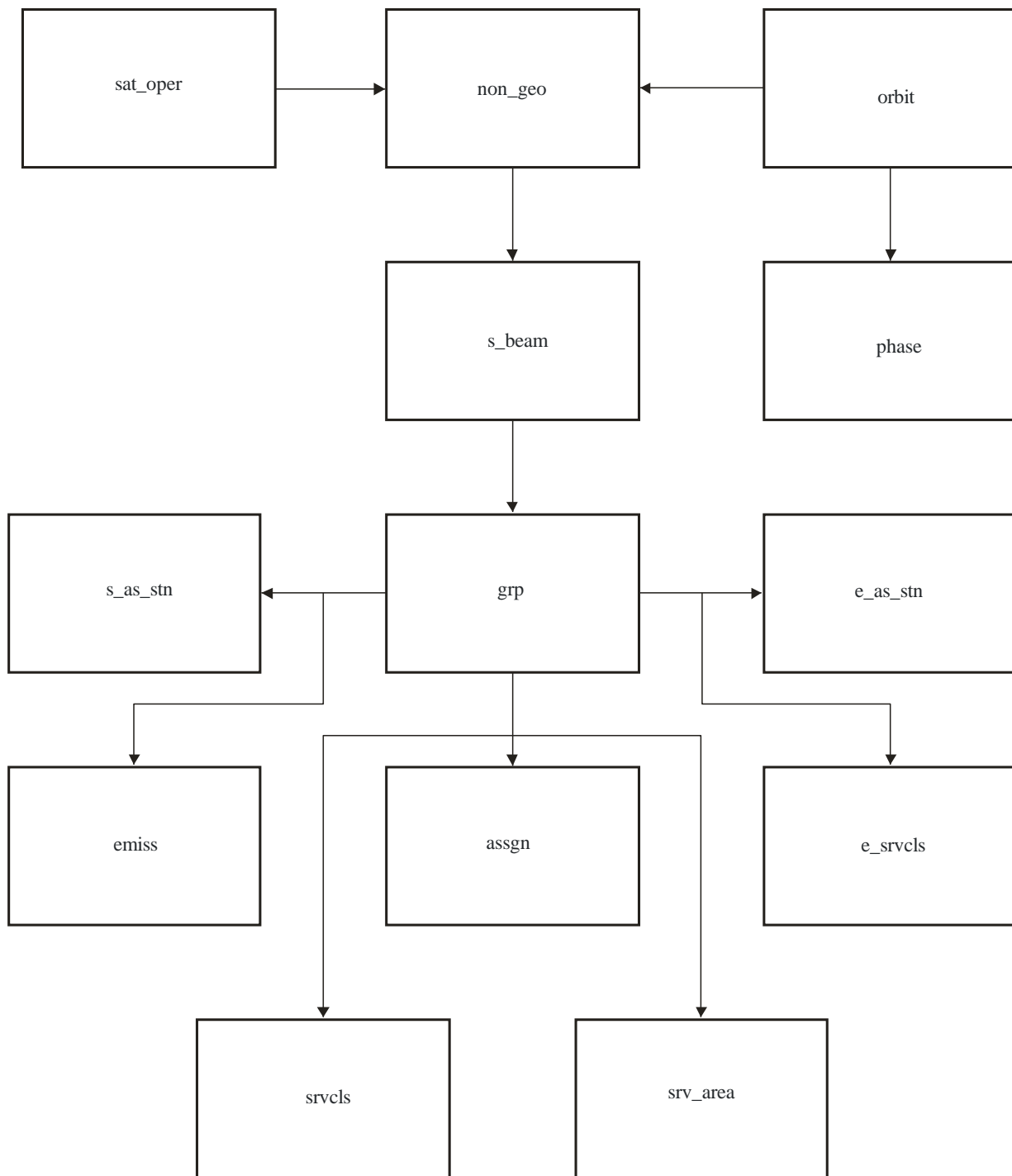


ТАБЛИЦА 4

Данные из Приложения 4 для анализа э.п.п.м.

Заявка

Элемент данных	Тип данных	Формат	Описание	Подтверждение
ntc_id	Числовые	9(9)	Уникальный идентификатор заявки	Первичный ключ
ntc_type	Текстовые	X	Код, указывающий на то, что заявка касается геостационарного спутника [G], негеостационарного спутника [N], конкретной земной станции [S] или типовой земной станции [T]	value != Null
d_rcv	Дата/время	9(8)	Дата получения заявки	
ntf_rsn	Текстовые	X	Код, указывающий на то, что заявка была представлена в соответствии с п. 1488 PP [N], п. 1060 PP [C], п. 1107 PP [D], 9.1 [A], 9.6 [C], 9.7A [D], 9.17 [D], 11.2 [N], 11.12 [N], статьями 2A, 4 и 5 ПР30/30A [B], статьями 6 и 7 ПР30B [P], статьёй 8 ПР30B [N] или Резолюцией 49 [U]	Программное обеспечение ищет значение "С" или "N"
st_cur	Текстовые	XX	Текущий статус обработки заявки	Программное обеспечение ищет значение "50" при проверке Статьи 9.7A

Non-geo

Элемент данных	Тип данных	Формат	Описание	Подтверждение
ntc_id	Числовые	9(9)	Уникальный идентификатор заявки	Первичный ключ
sat_name	Текстовые	X(20)	Название спутника	
nbr_sat_td	Числовые	9(4)	Максимальное количество отслеживаемых негеостационарных спутников, работающих на одной частоте и принимающих сигналы одновременно	value != Null && value > 0
avg_dist	Числовые	9(3).9	Среднее расстояние в километрах между ячейками, работающими на одной частоте	value != Null && value > 0
density	Числовые	9.9(6)	Среднее количество взаимодействующих земных станций, ведущих передачу на частотах с перекрывающимися зонами, на кв. км в пределах одной ячейки	value != Null && value > 0
f_x_zone	Текстовые	X	Флаг, указывающий на тип зоны: является ли угол зоны исключения углом альфа [Y] или углом X [N]	value != Null && (value == 'Y' 'N')
x_zone	Числовые	99.9	Ширина зоны исключения в градусах	value != Null && value > 0

orbit

Элемент данных	Тип данных	Формат	Описание	Подтверждение
ntc_id	Числовые	9(9)	Уникальный идентификатор заявки	Внешний ключ
orb_id	Числовые	99	Порядковый номер орбитальной плоскости	Первичный ключ
nbr_sat_pl	Числовые	99	Количество спутников на одну плоскость негеостационарной орбиты	value != Null && value > 0
right_asc	Числовые	999.99	Угловой разнос в градусах между восходящим узлом и точкой весеннего равноденствия	value != Null
inclin_ang	Числовые	999.9	Угол наклона спутниковой орбиты по отношению к плоскости экватора	value != Null
apog	Числовые	9(5).99	Наибольшая высота негеостационарного спутника над поверхностью Земли или другого эталонного тела, выраженная в километрах. Расстояния > 99 999 км выражаются в виде произведения значений полей "apog" и "apog_exp" (см. ниже), например: 125 000 = 1,25 × 10 ⁵	value != Null && value > 0
apog_exp	Числовые	99	Экспонентная часть апогея, выраженная в виде степени числа 10. Для обозначения показателя степени; укажите 0 для 10 ⁰ , 1 для 10 ¹ , 2 для 10 ² и т. д.	value != Null && value >= 0
perig	Числовые	9(5).99	Наименьшая высота негеостационарного спутника над поверхностью Земли или другого эталонного тела, выраженная в километрах. Расстояния > 99 999 км выражаются в виде произведения значений полей "perigee" и "perig_exp" (см. ниже), например: 125 000 = 1,25 × 10 ⁵	value != Null && value > 0
perig_exp	Числовые	99	Экспонентная часть перигея, выраженная в виде степени числа 10. Для обозначения показателя степени; укажите 0 для 10 ⁰ , 1 для 10 ¹ , 2 для 10 ² и т. д.	value != Null && value >= 0
perig_arg	Числовые	999.9	Угловой разнос (в градусах) между восходящим узлом и перигеем эллиптической орбиты. Если применяется п. 9.11А РР	

orbit (продолжение)

Элемент данных	Тип данных	Формат	Описание	Подтверждение
op_ht	Числовые	99.99	Минимальная рабочая высота негеостационарного спутника над поверхностью Земли или другого эталонного тела, выраженная в километрах. Расстояния > 99 км выражаются в виде произведения значений полей "op_ht" и "op_ht_exp" (см. ниже), например: $250 = 2,5 \times 10^2$	value != Null && value > 0
op_ht_exp	Числовые	99	Экспонентная часть рабочей высоты, выраженная в виде степени числа 10. Для обозначения показателя степени; укажите 0 для 10^0 , 1 для 10^1 , 2 для 10^2 и т. д.	value != Null && value >= 0
f_stn_keep	Текстовые	X	Флаг, указывающий, использует ли [Y] или не использует [N] космическая станция функцию удержания станции на орбите для обеспечения повторяющейся на земле трассы орбиты	value != Null && (value == 'Y' 'N')
rpt_prd_dd	Числовые	999	Суточная составляющая периода повторения группировки (с)	
rpt_prd_hh	Числовые	99	Часовая составляющая периода повторения группировки (с)	
rpt_prd_mm	Числовые	99	Минутная составляющая периода повторения группировки (с)	
rpt_prd_ss	Числовые	99	Секундная составляющая периода повторения группировки (с)	
f_precess	Текстовые	X	Флаг, указывающий, должна ли [Y] или нет [N] при моделировании космической станции использоваться конкретная скорость прецессии восходящего узла орбиты вместо члена J2	value != Null && (value == 'Y' 'N')
precession	Числовые	999.99	Для космической станции, при моделировании которой будет использоваться конкретная скорость прецессии восходящего узла орбиты вместо члена J2, указывается скорость прецессии (градусы/сутки), измеренная против часовой стрелки в экваториальной плоскости	Если f_precess == 'Y', то value != Null && value >= 0
long_asc	Числовые	999.99	Долгота восходящего узла для j-й орбитальной плоскости, измеренная против часовой стрелки в экваториальной плоскости от гринвичского меридиана до точки, где спутниковая орбита пересекает экваториальную плоскость с юга на север ($0^\circ = j < 360^\circ$)	value != Null && value >= 0
keep_rnge	Числовые	99.9	Допустимое отклонение долготы восходящего узла	Если f_stn_keep == 'Y', то value != Null && value >= 0

Phase

Элемент данных	Тип данных	Формат	Описание	Подтверждение
ntc_id	Числовые	9(9)	Уникальный идентификатор заявки	Внешний ключ
orb_id	Числовые	99	Порядковый номер орбитальной плоскости	Внешний ключ
orb_sat_id	Числовые	99	Порядковый номер спутника в орбитальной плоскости	value != Null && value > = 0
phase_ang	Числовые	999.9	Начальный фазовый угол спутника в орбитальной плоскости. Если применяется п. 9.11А РР	value != Null && value > = 0

Grp

Элемент данных	Тип данных	Формат	Описание	Подтверждение
ntc_id	Числовые	9(9)	Уникальный идентификатор заявки	Внешний ключ
grp_id	Числовые	9(9)	Уникальный идентификатор группы	Первичный ключ
emi_rcp	Текстовые	X	Код, определяющий луч как передающий [E] или приемный [R]	value != Null && (value == 'E' 'R')
beam_name	Текстовые	X(8)	Обозначение луча спутниковой антенны	
elev_min	Числовые	S9(3).99	Минимальный угол места, при котором любая взаимодействующая земная станция может вести передачи в направлении негеостационарного спутника, или минимальный угол места, при котором радиоастрономическая станция проводит наблюдения при помощи антенн с одним параболическим отражателем или наблюдения по методу VLBI	value != Null && value > = 0
freq_min	Числовые	9(6).9(6)	Минимальная частота в МГц (присвоенная частота – половина ширины полосы) (для всех частот этой группы)	value != Null && value > 0
freq_max	Числовые	9(6).9(6)	Максимальная частота в МГц (присвоенная частота + половина ширины полосы) (для всех частот этой группы)	value != Null && value > 0
d_rcv	Дата/время	9(8)	Дата получения списка частотных присвоений, относящихся к данной группе	
noise_t	Числовые	9(6)	Шумовая температура приемной системы	Подтверждено только для проверок 9.7А/В

srv_cls

Элемент данных	Тип данных	Формат	Описание	Подтверждение
grp_id	Числовые	9(9)	Уникальный идентификатор группы	Внешний ключ
seq_no	Числовые	9(4)	Порядковый номер	value != Null && value > = 0
stn_cls	Текстовые	XX	Класс станции	

Mask_info

Элемент данных	Тип данных	Формат	Описание	Подтверждение
ntc_id	Числовые	9(9)	Уникальный идентификатор группы	Внешний ключ
mask_id	Числовые	9(4)	Порядковый номер	Внешний ключ
sat_name	Текстовые	X(20)	Название станции	
f_mask	Текстовые	X	Код, обозначающий, соответствует ли маска э.и.и.м. земной станции [E], э.и.и.м. космической станции [S] или п.п.м. космической станции [P]	value != Null && (value == 'E' 'S' 'P')
f_mask_type	Текстовые	X(20)	Формат маски	Если f_mask == 'P', то (value != Null && (value == 'alpha_deltaLongitude' 'X_deltaLongitude' 'azimuth_elevation')). Если f_mask == 'S', то (value != Null && (value == 'Offaxis' 'azimuth_elevation'))
freq_min	Числовые	9(6).9(6)	Наименьшая частота, для которой действительна данная маска (ГГц)	value != Null && value > 0
freq_max	Числовые	9(6).9(6)	Наибольшая частота, для которой действительна данная маска (ГГц)	value != Null && value > 0

e_as_stn

Элемент данных	Тип данных	Формат	Описание	Подтверждение
grp_id	Числовые	9(9)	Уникальный идентификатор группы	Внешний ключ
seq_no	Числовые	9(4)	Порядковый номер	value != Null && value >= 0
stn_name	Текстовые	X(20)	Название передающей или приемной станции	
stn_type	Текстовые	X	Код, указывающий, является ли земная станция конкретной [S] или типовой [T]	value != Null && (value == 'S' 'T')
bmwidth	Числовые	999.99	Угловая ширина главного лепестка излучения в градусах, выраженная числом с двумя десятичными знаками	value != Null && value > 0

sat_oper

Элемент данных	Тип данных	Формат	Описание	Подтверждение
ntc_id	Числовые	9(9)	Уникальный идентификатор заявки	Внешний ключ
lat_fr	Числовые	S99.999	Нижний предел диапазона широт	value != Null
lat_to	Числовые	S99.999	Верхний предел диапазона широт	value != Null
nbr_op_sat	Числовые	9(4)	Максимальное количество негеостационарных спутников, ведущих передачу на частотах с перекрывающимися зонами в направлении заданного местоположения в пределах конкретного диапазона широт	value != Null

mask_ink1

Элемент данных	Тип данных	Формат	Описание	Подтверждение
grp_id	Числовые	9(9)	Уникальный идентификатор группы	Внешний ключ
ntc_id	Числовые	9(9)	Уникальный идентификатор заявки	Внешний ключ
mask_id	Числовые	9(4)	Уникальный идентификатор маски	Внешний ключ
orb_id	Числовые	99	Порядковый номер орбитальной плоскости	Внешний ключ
sat_orb_id	Числовые	99	Порядковый номер спутника в орбитальной плоскости	value != Null && value > = 0

mask_ink2

Элемент данных	Тип данных	Формат	Описание	Подтверждение
grp_id	Числовые	9(9)	Уникальный идентификатор группы	Внешний ключ
seq_e_as	Числовые	9(4)	Порядковый номер взаимодействующей земной станции	Внешний ключ
ntc_id	Числовые	9(9)	Уникальный идентификатор заявки	Внешний ключ
mask_id	Числовые	9(4)	Уникальный идентификатор маски	Внешний ключ
orb_id	Числовые	99	Порядковый номер орбитальной плоскости	Внешний ключ
sat_orb_id	Числовые	99	Порядковый номер спутника в орбитальной плоскости	value != Null && value > = 0

Таблицы, используемые в расчетах Статьи 9.7А/9.7В**e_stn**

Элемент данных	Тип данных	Формат	Описание	Подтверждение
ntc_id	Числовые	9(9)	Уникальный идентификатор заявки	Внешний ключ
stn_name	Текстовые	X(20)	Название земной станции	value != Null
sat_name	Текстовые	X(20)	Название взаимодействующей космической станции	value != Null
lat_dec	Числовые	S9(2).9(4)	Широта в градусах, выраженная числом с четырьмя десятичными знаками	value != Null
long_dec	Числовые	S9(2).9(4)	Долгота в градусах, выраженная числом с четырьмя десятичными знаками	value != Null
long_nom	Числовые	S999.99	Номинальная долгота взаимодействующей космической станции; укажите "-" для западной долготы и "+" для восточной долготы	value != Null

e_ant

Элемент данных	Тип данных	Формат	Описание	Подтверждение
ntc_id	Числовые	9(9)	Уникальный идентификатор заявки	Внешний ключ
emi_rcp	Текстовые	X	Код, определяющий луч как передающий [E] или приемный [R]	value != Null
bmwidth	Числовые	999.99	Ширина главного лепестка антенны земной станции	
gain	Числовые	S99.9	Максимальное изотропное усиление антенны земной станции	

ЧАСТЬ С

Расчет масок п.п.м./э.и.и.м.**1 Определение**

Цель расчета масок п.п.м. – определить огибающую мощности, излучаемой НГСО космическими станциями и НГСО земными станциями, с тем чтобы результаты вычислений учитывали все, что будет излучаться, независимо от того, какая стратегия распределения ресурсов и коммутации используется в различные периоды срока службы НГСО системы.

Для расчета маски п.п.м. может использоваться концепция эталонного угла, определяемого спутником.

2 Расчет масок п.п.м. излучения спутника**2.1 Общее представление**

Маска п.п.м. излучения спутника определяется максимальной п.п.м., создаваемой любой космической станцией НГСО мешающей системы, видимой из любой точки на поверхности Земли. Для использования БР в программном обеспечении в целях проверки рекомендуется четырехмерная маска п.п.м., которая определяется одним из двух указанных ниже вариантов.

Вариант 1. В зависимости от:

- НГСО спутника;
- широты подспутниковой точки НГСО;
- угла разнеса α (или X) между этой НГСО космической станцией и дугой ГСО, видимой из любой точки на поверхности Земли (в направлении спутника), как определено в п. D.6.4.4;
- разности ΔL по долготе между подспутниковой точкой НГСО и точкой на дуге ГСО, где угол α (или X) минимален, как определено в п. D.6.4.4.

Вариант 2. В зависимости от:

- НГСО спутника;
- широты подспутниковой точки НГСО;
- азимутального угла, определяемого в п. D.6.4.5;
- угла места, определяемого в п. D.6.4.5.

Какие бы параметры не использовались для расчета маски п.п.м., результирующая маска п.п.м. должна быть преобразована в один из указанных выше вариантов формата.

Поскольку НГСО космическая станция может генерировать одновременно заданное максимальное количество лучей, это следует учитывать для лучшего соответствия проекту системы и при этом также не должно создаваться слишком больших ограничений для НГСО систем.

При расчете маски п.п.м. реализуются методы снижения помех, используемые НГСО системой, как, например, уклонение от дуги ГСО. Метод уклонения от дуги ГСО определяет нерабочую зону на земле в поле зрения НГСО космической станции. Местоположение этой нерабочей зоны на земле будет перемещаться в зависимости от широты подспутниковой точки НГСО. Для получения более точной модели НГСО системы широта подспутниковой точки НГСО берется в качестве параметра при расчете маски п.п.м.

Применение масок п.п.м. для углов α или X означает, что для угла исключения при расчете э.п.п.м.↓ используется одно и то же определение угла ГСО.

2.2 Описание методов снижения помех

В этом разделе должны быть даны точные объяснения относительно метода снижения помех, реализуемого в рамках НГСО системы, в целях его полного моделирования при расчете э.п.п.м.↑.

Что касается использования нерабочей зоны вокруг дуги ГСО, существуют по крайней мере три различных способа моделирования системы НГСО, основанных на сотовой архитектуре:

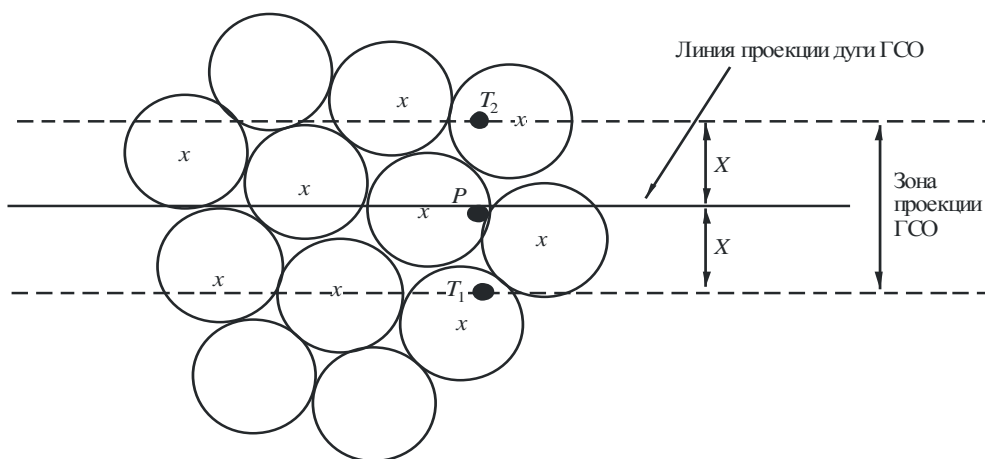
- наблюдение нерабочей зоны по всей ячейке – луч НГСО космической станции отключается, если угол разноса между этой НГСО космической станцией и дугой ГСО, в любой точке ячейки НГСО, меньше, чем α_0 (угол отклонения от дуги ГСО);
- наблюдение нерабочей зоны в центре ячейки – луч НГСО космической станции отключается, когда из центра данной ячейки эта космическая станция НГСО видна под углом менее чем α_0 от дуги ГСО;
- система координат, определяемая спутником – луч НГСО космической станции отключается, когда эталонный угол X , определяемый спутником, меньше, чем X_0 . Эталонный угол X – это угол между линией, проецируемой от дуги ГСО через НГСО космическую станцию к земле, и линией от космической станции НГСО до края луча НГСО станции.

Могут использоваться и другие не упомянутые здесь методы снижения помех. Информация об этих методах будет предоставляться администрацией НГСО системы для описания и проверки маски п.п.м.

На рисунке 3 показана система координат, определяемая спутником, с отключением луча в зоне исключения, образованной углом X .

РИСУНОК 3

Угол исключения, определяемый спутником, если смотреть на луч сверху



x – луч отключается, когда край находится в пределах зоны ГСО.

2.3 Расчет п.п.м.

2.3.1 Расчет п.п.м.

Уровень п.п.м., излучаемой НГСО космической станцией в любой точке на поверхности Земли, – это сумма п.п.м., создаваемой всеми передающими лучами в совпадающей полосе частот.

Некоторые НГСО системы имеют следающие антенны, которые направлены на ячейки, фиксированные на поверхности Земли и не перемещающиеся при движении космического аппарата. Однако поскольку маска п.п.м. вычисляется относительно местоположения станции НГСО, то при расчете маски п.п.м. должны быть сделаны некоторые допущения. Принятие упрощающего допущения, что ячейки перемещаются при движении космического аппарата, может привести к неточным географическим распределениям уровней э.п.п.м.

Было отмечено, что поскольку в НГСО системах используются методы снижения помех, никакого выравнивания "главный луч – главный луч" производиться не будет. Поэтому в отношении явлений деполяризации подразумевается, что вклады за счет как совпадающей поляризации, так и кроссполяризации должны учитываться как источники помех.

Такой расчет маски п.п.м. в явном виде учитывает как совпадающую, так и кроссполяризацию от НГСО спутников на ГСО земных станциях для одинаковых типов поляризации (круговая-круговая или линейная-линейная). Развязка между системами с различными типами поляризации непосредственно не рассматривается. Исследования показали, что средняя общая мощность помех для всех осевых отношений и ориентаций эллипса поляризации дает очень малое чистое увеличение на 0,048 дБ мощности принимаемых помех в антенне РСС. Любые вклады за счет кроссполяризации ограничиваются пределами от –30 дБ до +3 дБ, которые вряд ли будут достигнуты.

Тогда:

$$pfd = 10 \log \left(\sum_i^{N_{co}} 10^{pfd_{co_i}/10} + \sum_j^{N_{cross}} 10^{pfd_{cross_j}/10} \right),$$

где:

- pfd : п.п.м., излучаемая НГСО космической станцией (дБ(Вт/м²)) в эталонной полосе частот;
- i : индекс лучей, с помощью которых ведется передача с рассматриваемой поляризацией;
- N_{co} : максимальное число лучей, с помощью которых может вестись одновременная передача с рассматриваемой поляризацией;
- pfd_{co_i} : п.п.м., создаваемая в рассматриваемой точке на поверхности Земли одним лучом с рассматриваемой поляризацией (дБ(Вт/м²)) в эталонной полосе частот;
- j : индекс лучей, с помощью которых ведется передача с поляризацией, противоположной к рассматриваемой поляризации;
- N_{cross} : максимальное количество лучей, с помощью которых может вестись одновременная передача с поляризацией, противоположной к рассматриваемой поляризации;
- pfd_{cross_j} : п.п.м., создаваемая в рассматриваемой точке на поверхности Земли одним лучом с поляризацией, противоположной к рассматриваемой поляризации (дБ(Вт/м²)) в эталонной полосе частот;

и

$$pfd_{co_i} = P_i + G_i - 10 \log_{10}(4 \pi d^2),$$

где:

- P_i : максимальная мощность, передаваемая лучом i в эталонной полосе частот (дБ(Вт/BW_{ref}));

- BW_{ref} : эталонная ширина полосы (кГц);
- G_i : усиление, создаваемое лучом i с рассматриваемой поляризацией в рассматриваемой точке на поверхности Земли (дБи);
- d : расстояние между НГСО космической станцией и рассматриваемой точкой на поверхности Земли (если усиление антенны НГСО спутника дается в виде изолиний потока, d – высота НГСО космической станции) (м);

и

$$pfd_{crossj} = P_j + G_{crossj} - 10\log_{10}(4\pi d^2),$$

где:

- G_{crossj} : усиление кроссполяризации, создаваемое лучом j , с помощью которого ведется передача в рассматриваемой точке на поверхности Земли с поляризацией, противоположной к рассматриваемой поляризации (дБи).

Ожидается, что параметры, используемые для расчета маски п.п.м./э.и.и.м., соответствуют характеристикам НГСО спутника в течение его предполагаемого срока службы.

2.3.2 Усиление спутниковой антенны в точке, рассматриваемой на поверхности Земли

Цель этого раздела – определить усиление в направлении точки M на поверхности Земли, когда спутниковая антенна направлена на ячейку i . Координаты антенны могут быть определены с помощью четырех способов отсчета в данной системе координат:

φ : сферическая координата;

v : $u = \sin \theta \cos \varphi$, $v = \sin \theta \sin \varphi$;

B : $A = \theta \cos \varphi$, $B = \theta \sin \varphi$;

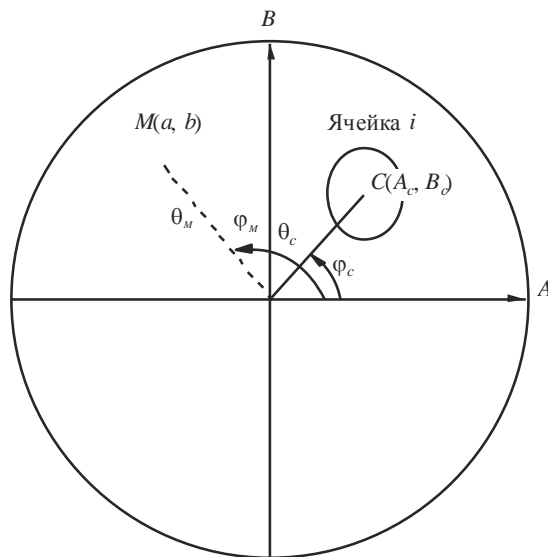
(Az, El) : $\sin (El) = \sin \theta \sin \varphi$, $\tan (Az) = \tan \theta \cos \varphi$.

В качестве примера ниже следующие расчеты выполняются в системе координат антенны (A, B) .

Выборка диаграмм направленности антенн НГСО спутников должна адаптироваться таким образом, чтобы такая интерполяция не приводила к уровню усиления, значительно отличающемуся от реальных значений.

На рисунке 4 представлены геометрические построения в плоскости антенны (A, B) .

РИСУНОК 4
Плоскость антенны (A, B)



S.1503-04

Координатами точки M на поверхности Земли являются точки (a, b) в плоскости антенны (A, B) , соответствующие точкам (θ_m, φ_m) в полярных координатах.

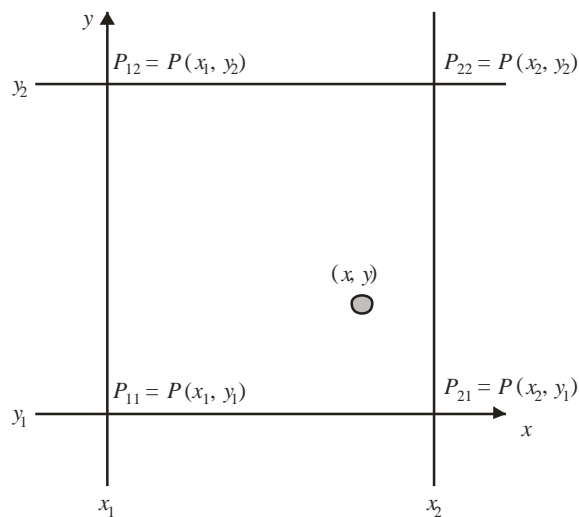
Координатами точки C центра ячейки i являются точки (A_c, B_c) в плоскости антенны (A, B) и (θ_c, φ_c) в сферических координатах.

Для диаграмм усиления спутниковых антенн с функциональными описаниями (то есть уравнениями) усиление в точке M может быть рассчитано непосредственно из координат $C(A_c, B_c)$ и $M(a, b)$. Для других диаграмм направленности коэффициенты усиления спутниковых антенн определяются из сетки точек (A, B) . Точка $M(a, b)$ может быть расположена между четырьмя точками сетки (A, B) .

Как правило, в этом случае необходимо провести интерполяцию между точками данных. Рассмотрим сетку значений P для диапазонов значений $x = \{x_1, x_2, \dots\}$ и $y = \{y_1, y_2, \dots\}$, как показано на рисунке 5.

РИСУНОК 5

Интерполяция между точками данных



S.1503-05

Значение параметра P в точке (x, y) можно получить путем определения граничных значений и следовательно:

$$\lambda_x = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1};$$

$$\lambda_y = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}.$$

Тогда P можно интерполировать по формуле:

$$P = (1 - \lambda_x)(1 - \lambda_y)P_{11} + \lambda_x(1 - \lambda_y)P_{21} + (1 - \lambda_x)\lambda_y P_{12} + \lambda_x\lambda_y P_{22}.$$

Выборка диаграмм направленности антенн НГСО спутников должна адаптироваться таким образом, чтобы такая интерполяция не приводила к значительным аппроксимациям.

Те же самые критерии должны использоваться при выборке маски п.п.м.

2.4 Методика

Маска п.п.м. определяется по максимальным значениям п.п.м., создаваемой любой космической станцией мешающей НГСО системы, а также как функция параметров, определяемых либо в варианте 1, либо в варианте 2. Для расчета маски п.п.м. ячейки в зоне обслуживания НГСО спутника располагаются по направлению луча в НГСО системе. Для спутников с управляемыми антеннами спутник может быть направлен в одну и ту же зону поверхности Земли по всей своей траектории в космосе.

Эти ячейки фиксируются относительно поверхности Земли. Для спутников, имеющих фиксированные относительно них углы ориентации антенн, структура ячейки одна и та же относительно спутника, но перемещается относительно Земли.

2.4.1 Вариант 1

В качестве примера описание варианта 1 было сделано для маски п.п.м., определяемой как функция угла разноса α . Если маска п.п.м. создается как функция угла X , последующие расчеты остаются теми же, но угол α заменяется углом X .

Маска п.п.м. определяется как функция угла разноса α между этой НГСО космической станцией и дугой ГСО, видимой из любой точки на поверхности Земли, и разности ΔL по долготе между подспутниковой точкой НГСО и ГСО спутником.

Угол α является, следовательно, минимальным топоцентрическим углом, измеренным от этой конкретной земной станции между мешающей НГСО космической станцией и любой точкой на дуге ГСО.

Назначение этой маски – определить максимально возможный уровень п.п.м., излучаемой НГСО космической станцией, в функции угла разноса между НГСО космической станцией и дугой ГСО в любой точке на поверхности Земли в интервале ΔL .

В каждой точке зоны обслуживания НГСО спутника уровень п.п.м. зависит от:

- конфигурации точечных лучей, с помощью которых ведется передача со спутника;
- максимального количества лучей на совпадающей частоте, с помощью которых может вестись одновременная передача;
- максимального количества лучей на совпадающей частоте для совпадающей поляризации, с помощью которых может вестись одновременная передача;
- максимальной мощности, доступной на спутниковом ретрансляторе.

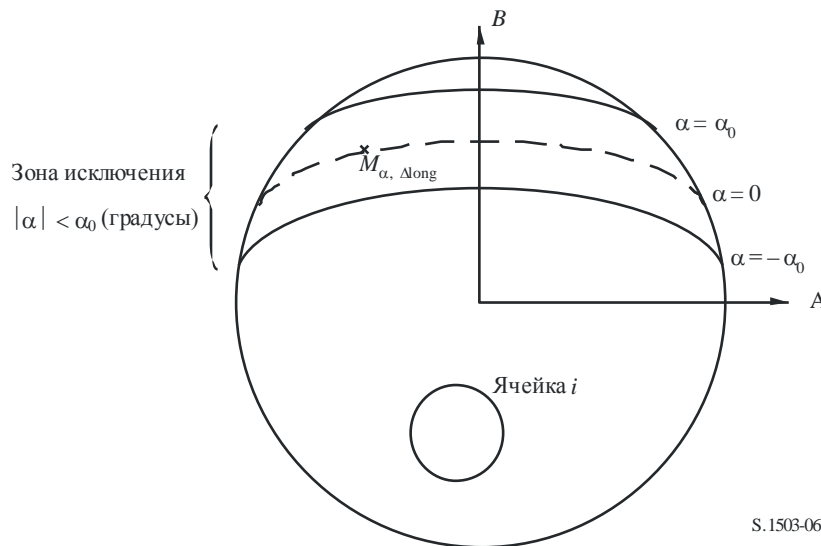
Предлагаемая методика для расчета маски п.п.м. объясняется с помощью указанных ниже шагов.

Шаг 1. В любое заданное время области видимости с НГСО космической станции N_{total} – это максимальное число ячеек, которое можно увидеть при минимальном угле места службы.

Шаг 2. В области видимости с НГСО космической станции можно провести линии iso- α , то есть точки на поверхности Земли, которые соответствуют одному и тому же значению угла α (см. рисунки 6 и 7).

РИСУНОК 6

Область видимости с космической станции НГСО (вариант 1)

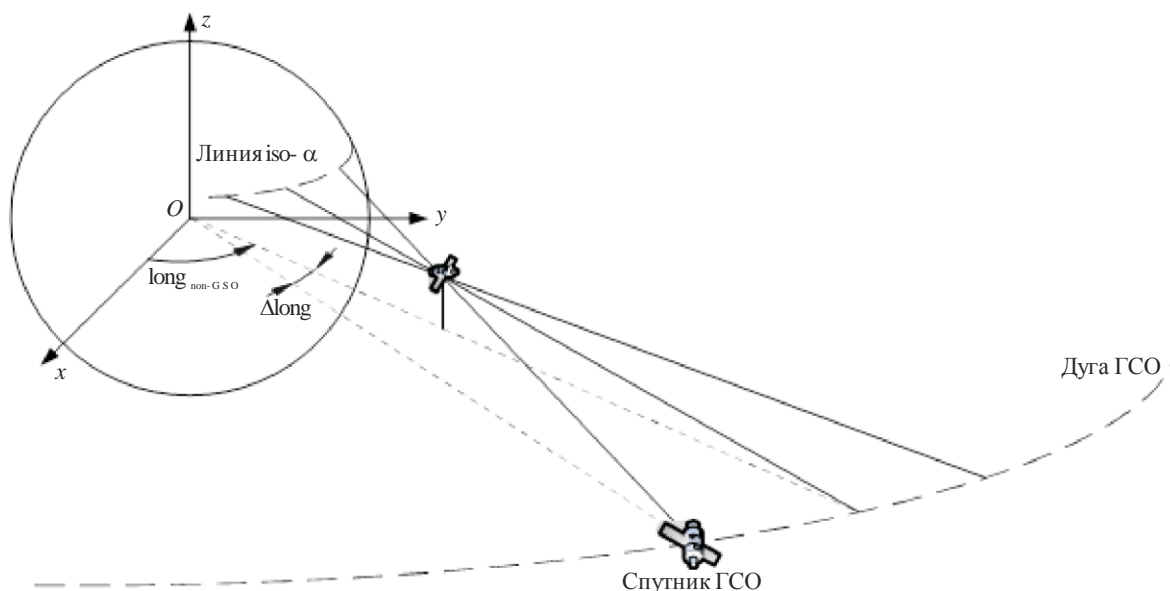


Шаг 3. Вдоль линии iso- α определите интервалы ΔL – разность по долготе между подспутниковой точкой НГСО и точкой на дуге ГСО, где угол α (или X) минимален.

Шаг 4. Для каждого интервала ΔL линия iso- α может быть определена с помощью набора n точек $M_{\alpha, k}$ для $k = 1, 2, \dots, n$. Для определения максимальной п.п.м., соответствующей заданному значению α , необходимо вычислить максимальную п.п.м. в каждой из точек $M_{\alpha, k}$ для $k = 1, 2, \dots, n$. Максимальная п.п.м. в заданной точке $M_{\alpha, k}$ определяется путем установления сначала вкладов в п.п.м. от каждой ячейки i в направлении $M_{\alpha, k}$, принимая во внимание зависимость диаграмм направленности боковых лепестков от угла наклона луча. Затем максимальные вклады п.п.м. в направлении $M_{\alpha, k}$ суммируются, причем количество вкладов определяется физическими ограничениями космической станции.

- Из N_{total} ячеек, которые можно видеть в пределах зоны покрытия космической станции при минимальном угле места для связи, только N_{co} ячеек может быть облучено в полосе частот одной и той же ширины, для одного вида поляризации и N_{cross} – для другого вида поляризации. Это вызвано ограничениями антенной системы на НГСО космической станции. Чтобы рассчитать маску для одной поляризации, определяются ячейки, которые могут быть облучены для этой поляризации, а уровень кроссполяризации рассматривается для других ячеек.
- Из этих N_{co} и N_{cross} ячеек может быть одновременно облучено только заданное число ячеек. Это вызвано ограничениями системы ретранслятора НГСО космической станции.
- Если возможно, необходимо также разъяснить ограничения в связи со схемами повторного использования частот и повторного использования поляризации.
- Если применимо, мощность, распределенная на одну ячейку, может изменяться с учетом, например, угла места относительно этой ячейки.

РИСУНОК 7
Трехмерный вид линии iso- α



S.1503-07

Шаг 5. При расчете маски п.п.м. также необходимо правильно учитывать применяемые в рамках НГСО системы методы снижения помех.

Что касается использования нерабочей зоны вокруг дуги ГСО, существуют по крайней мере три различных способа моделирования НГСО системы, основанных на сотовой архитектуре:

- наблюдение нерабочей зоны по всей ячейке – луч отключается, когда из одной точки на Земле виден НГСО спутник в пределах угла α_0 дуги ГСО. В этом конкретном случае любой луч, охватывающий ячейку, которая пересекается линией iso- α , соответствующей значению $|\alpha| \leq \alpha_0$, отключается;
- наблюдение нерабочей зоны в центре ячейки – луч отключается, когда из центра ячейки виден НГСО спутник в пределах угла α_0 дуги ГСО. В этом случае любой луч, охватывающий ячейку, центр которой находится внутри нерабочей зоны, ограниченной двумя линиями iso- α_0 , отключается;
- если выбирается система координат, определяемая спутником, – луч НГСО космической станции отключается, когда угол X меньше, чем X_0 . Эталонный угол X – это угол между линией, проецируемой от дуги ГСО через НГСО космическую станцию к земле, и линией от НГСО космической станции до края луча НГСО спутника.

Шаг 6. Максимальное значение п.п.м., соответствующее заданному значению α в пределах интервала ΔL , составляет

$$\text{п.п.м.}(\alpha, \Delta L) = \max_{k=1, 2, \dots, n} (\text{п.п.м.}(M_{\alpha, k})).$$

Шаг 7. Расположение линии iso- α , а следовательно значение максимальной п.п.м. вдоль этой линии зависит от широты подспутниковой точки НГСО. Поэтому необходимо будет обеспечить набор масок п.п.м., каждая из которых соответствует заданной широте подспутниковой точки.

Шаг 8. Может потребоваться набор масок п.п.м. (по одной на НГСО спутник).

2.4.2 Вариант 2

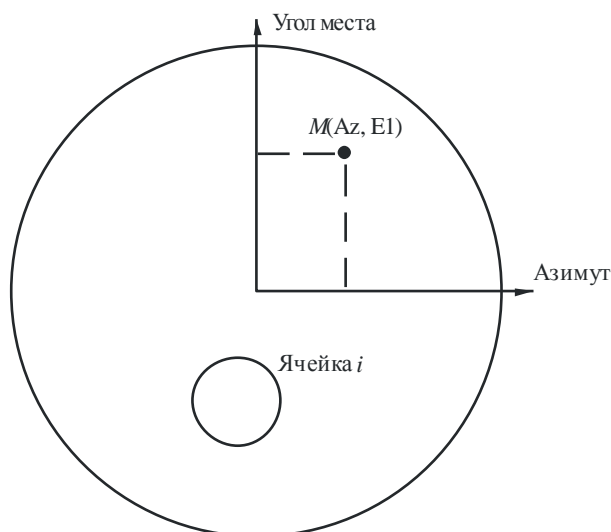
Маска п.п.м. определяется в сетке азимутов и углов места на широте подспутниковой точки НГСО.

Назначение этой маски – определить максимально возможный уровень п.п.м., излучаемой НГСО космической станцией, в этой сетке азимутов и углов места.

В каждой точке зоны обслуживания НГСО спутника уровень п.п.м. зависит от:

- конфигурации точечных лучей, с помощью которых ведется передача со спутника;
- максимального количества лучей на совпадающей частоте, с помощью которых может вестись одновременная передача;
- максимального количества лучей на совпадающей частоте для совпадающей поляризации, с помощью которых может вестись одновременная передача;
- максимальной мощности, доступной на спутниковом ретрансляторе.

РИСУНОК 8
Область видимости с космической станции НГСО (вариант 2)



S.1503-08

Предлагаемая методика для расчета маски п.п.м. объясняется с помощью указанных ниже шагов.

Шаг 1. В любое заданное время в области видимости НГСО космической станции N_{total} – это максимальное количество ячеек, которое можно увидеть при минимальном угле места для данной службы.

Шаг 2. Для каждой точки $M(Az, El)$ определите максимальную п.п.м. Максимальная п.п.м. в заданной точке $M_{\alpha, k}$ определяется путем установления сначала вкладов в п.п.м. от каждой ячейки i в направлении $M(Az, El)$, принимая во внимание зависимость диаграмм направленности боковых лепестков от угла наклона луча. Затем максимальные вклады п.п.м. в направлении $M_{\alpha, k}$ суммируются, причем количество вкладов определяется физическими ограничениями космической станции.

- Из N_{total} ячеек, которые можно видеть в пределах зоны покрытия космической станции при минимальном угле места для связи, только N_{co} ячеек может быть облучено в полосе частот одной и той же ширины для одного вида поляризации и N_{cross} – для другого вида поляризации. Это вызвано ограничениями антенной системы на НГСО космической станции. Чтобы рассчитать маску для одной поляризации, определяются ячейки, которые могут быть облучены для этой поляризации, а уровень кроссполяризации рассматривается для других ячеек.
- Из этих N_{co} и N_{cross} ячеек может быть одновременно облучено только заданное количество ячеек. Это вызвано ограничениями системы ретранслятора НГСО космической станции.
- Если возможно, необходимо также разъяснить ограничения в связи со схемами повторного использования частот и повторного использования поляризации.
- Если применимо, мощность, распределенная на одну ячейку, может изменяться с учетом, например, угла места относительно этой ячейки.

Шаг 3. При расчете маски п.п.м. необходимо также правильно учитывать применяемые в рамках НГСО системы методы снижения помех.

Что касается использования нерабочей зоны вокруг дуги ГСО, существуют три различных способа моделирования НГСО системы, основанных на сотовой архитектуре:

- наблюдение нерабочей зоны по всей ячейке – луч отключается, когда из одной точки на Земле виден НГСО спутник в пределах угла α_0 дуги ГСО. В этом конкретном случае любой луч, охватывающий ячейку, которая пересекается линией iso- α , соответствующей значению $|\alpha| \leq \alpha_0$, отключается;
- наблюдение нерабочей зоны в центре ячейки – луч отключается, когда из центра ячейки виден НГСО спутник в пределах угла α_0 дуги ГСО. В этом случае любой луч, охватывающий ячейку, центр которой находится внутри нерабочей зоны, ограниченной двумя линиями iso- α_0 , отключается;
- если выбирается система координат, определяемая спутником, – луч НГСО космической станции отключается, когда угол X меньше, чем X_0 . Эталонный угол X – это угол между линией, проецируемой от дуги ГСО через НГСО космическую станцию к земле, и линией от НГСО космической станции до края луча НГСО станции.

Шаг 4. Может оказаться необходимым обеспечение набора масок п.п.м. в функции широты подспутниковой точки.

Шаг 5. Может потребоваться набор масок п.п.м. (по одной на НГСО спутник).

3 Расчет масок э.и.и.м.

3.1 Расчет масок э.и.и.м земной станции

3.1.1 Общее представление

Маска э.и.и.м. земной станции определяется уровнем максимальной э.и.и.м., создаваемой земной станцией, в функции внеосевого угла. Таким образом, для различных широт могут применяться различные маски э.и.и.м.

НГСО земная станция расположена в ячейке НГСО, которая обслуживается максимальным числом НГСО космических станций.

В качестве входных данных в расчетах используется также плотность НГСО земных станций, которые могут работать одновременно на совпадающей частоте.

3.1.2 Описание методов снижения помех

В этом разделе должен быть правильно объяснен метод снижения помех, реализуемый в пределах НГСО системы; это позволит полностью его моделировать при расчете э.п.п.м.↑ (см. п. С.2.2).

3.1.3 Диаграмма направленности антенны земной станции

Для расчета маски э.и.и.м. земной станции необходимо определить диаграмму направленности антенны земной станции.

3.1.4 Методика

Шаг 1. Маска э.и.и.м. земной станции определяется уровнем максимальной э.и.и.м., излучаемой в эталонной полосе частот земной станцией, в функции внеосевого угла и имеет вид

$$ES_{e.i.r.p}(\theta) = G(\theta) + P,$$

где:

$ES_{e.i.r.p.}$: эквивалентная изотропно излучаемая мощность в эталонной полосе частот (дБ(Вт/ BW_{ref}));

θ : угол разноса между НГСО космической станцией и ГСО космической станцией на НГСО земной станции (градусы);

$G(\theta)$: усиление направленной антенны земной станции (дБи);

P : максимальная мощность, подаваемая в антенну, в эталонной полосе частот (дБ(Вт/ BW_{ref}));

BW_{ref} : эталонная ширина полосы (кГц).

Шаг 2. Предполагая, что ячейки НГСО равномерно распределены на поверхности Земли, одновременно передающие на совпадающей частоте НГСО земные станции также равномерно распределены по ячейке. Поэтому для осуществления моделирования источник помех может быть размещен в центре ячейки.

Эта задача будет повторена для всех широт, которые могут иметь разные уровни $ES_{e.i.r.p.}$ (э.и.и.м. ЗС).

3.2 Расчет масок э.и.и.м. космической станции

Маска э.и.и.м. космической станции определяется уровнем максимальной э.и.и.м., создаваемой НГСО космической станцией, в функции внеосевого угла между опорным направлением НГСО космической станции и направлением на ГСО космическую станцию.

Маска э.и.и.м. космической станции определяется уровнем максимальной э.и.и.м., излучаемой в эталонной полосе частот космической станцией, в функции внеосевого угла и имеет вид

$$NGSO_{SS_{e.i.r.p.}}(\theta) = G(\theta) + P,$$

где:

$NGSO_{SS_{e.i.r.p.}}$: эквивалентная изотропно излучаемая мощность в эталонной полосе частот (дБ(Вт/ BW_{ref}));

θ : угол разноса между опорным направлением НГСО космической станции и направлением наведения ГСО космической станции (градусы);

$G(\theta)$: диаграмма усиления антенны космической станции (дБи), соответствующая объединению всех лучей;

P : максимальная мощность в эталонной полосе частот (дБ(Вт/ BW_{ref}));

BW_{ref} : эталонная ширина полосы (кГц).

4 Формат масок п.п.м. и э.и.и.м.

4.1 Общая структура масок

Одним из типов входных данных для Рекомендации МСЭ-R S.1503 являются маски п.п.м. и э.и.и.м., а именно:

- для прогонов э.п.п.м. (вниз) используются маски п.п.м., содержащие таблицы значений п.п.м. (α , Δ long) или п.п.м. (азимут, угол места) наряду с широтой, для которой действительна каждая таблица;
- для прогонов э.п.п.м. (вверх) используются маски э.и.и.м. земной станции НГСО, содержащие таблицы значений э.и.и.м. (θ) наряду с широтой, для которой действительна каждая таблица;
- для прогонов э.п.п.м. (IS) используются маски э.и.и.м. спутника НГСО, содержащие таблицы значений э.и.и.м. (θ) наряду с широтой, для которой действительна каждая таблица.

Во время моделирования программное обеспечение рассчитывает соответствующие параметры, такие как широта и внеосевой угол или угол α , а затем использует подходящую маску для расчета п.п.м. или э.и.и.м. с помощью следующего метода.

- 1) Выполняется поиск по массиву данных {широта, таблица} и выбирается таблица со значением широты, наиболее близким к значению, рассчитанному при моделировании.
- 2) Затем выбранная таблица используется для расчета п.п.м. и э.и.и.м. методом интерполяции:
 - а) п.п.м. – рассчитывается с помощью билинейной интерполяции в п.п.м(α , Δ long) или п.п.м. (азимут, угол места);
 - б) э.и.и.м. – рассчитывается с помощью линейной интерполяции в э.и.и.м. (θ).

Каждая из таблиц является независимой, то есть при разных широтах могут использоваться разные значения разрешающей способности сетки и диапазоны. Необязательно, чтобы маска охватывала весь диапазон. За пределами предоставленных значений предполагается использовать последнее допустимое значение.

Однако следует отметить, что для широты и районов {азимут, угол места, α , Δ long}, где отсутствует фактический уровень п.п.м., во избежание использования таблицы для ближайшей широты, содержащей рабочие уровни п.п.м., целесообразно применять самые низкие уровни п.п.м. для этих диапазонов при моделировании сценария передачи.

Таблица маски п.п.м. не предполагает симметричности по значениям {азимут, угол места, α , Δ long} и должна содержать весь диапазон положительных и отрицательных экстремумов. Предполагается, что маски э.и.и.м. должны быть симметричны по линии осевого направления за счет использования внеосевого угла в качестве параметра. В случае если рассчитанные при моделировании значения {азимут, угол места, α , Δ long, внеосевой угол} выходят за пределы диапазонов, заданных в масках п.п.м. или э.и.и.м., необходимо использовать последнее допустимое значение.

Для масок э.и.и.м. ЗС вместо плотности поля можно указать положение (по широте, долготе) через ссылку на определенную ЗС в SRS. Следует отметить, что смешивать типы не разрешается. Все ЗС НГСО должны быть определены через конкретную ЗС или только через плотность поля.

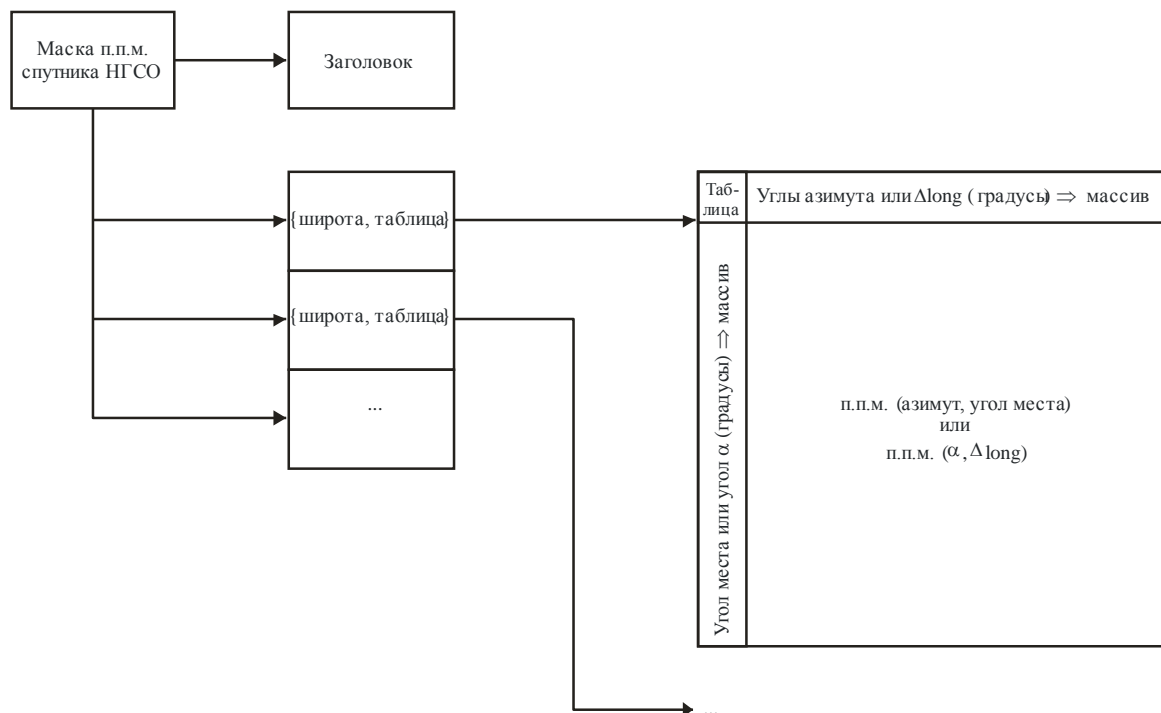
У каждой маски есть заголовок, в котором представлена следующая информация:

- идентификатор заявки;
- название спутника;
- идентификатор маски;
- допустимая маска наименьшей частоты в МГц;
- допустимая маска наибольшей частоты в МГц;
- тип маски;
- параметры маски.

Взаимосвязи масок показаны на рисунках 9–11.

РИСУНОК 9

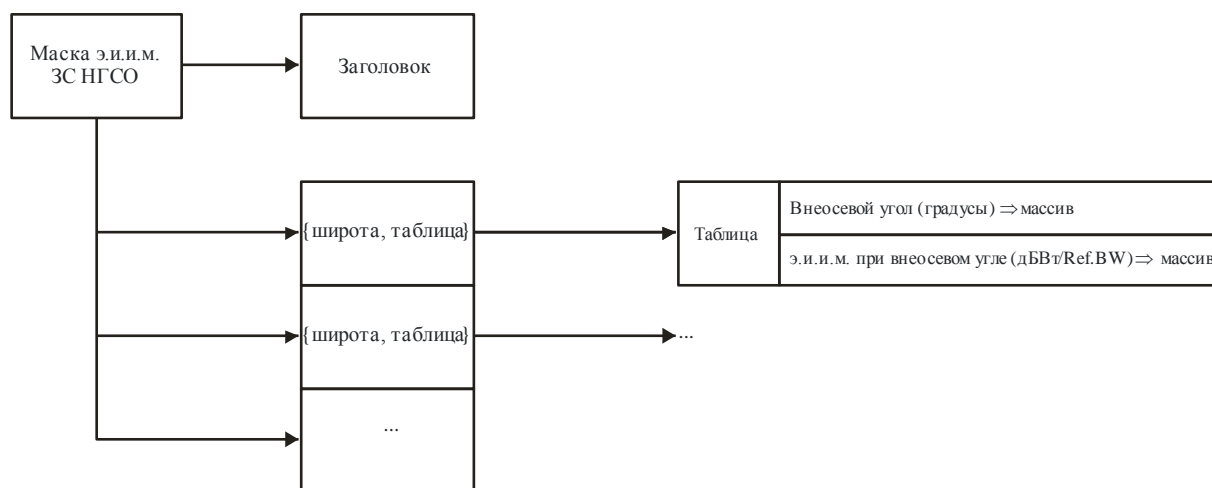
Структура данных маски п.п.м. для э.п.п.м. (вниз)



S.1503-09

РИСУНОК 10

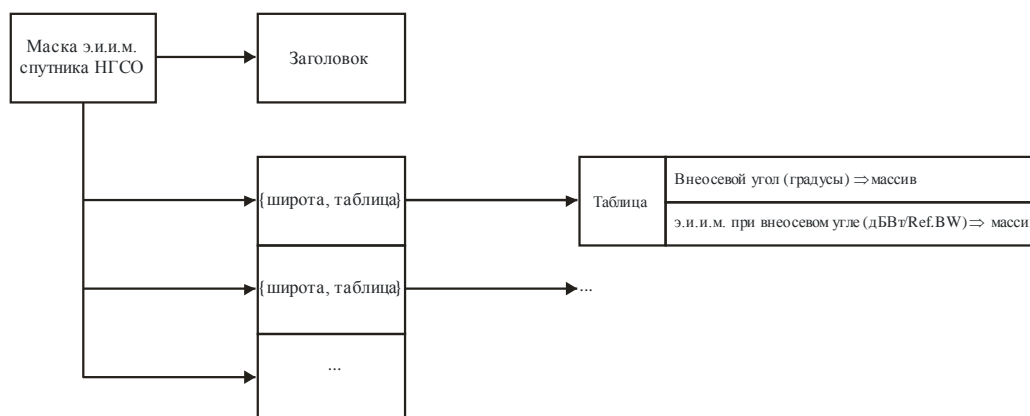
Структура данных маски п.п.м. для э.п.п.м. (вверх)



S.1503-10

РИСУНОК 11

Структура данных маски п.п.м. для э.п.п.м. (IS)



S.1503-11

Маски п.п.м. должны быть предоставлены в БР МСЭ в формате XML, поскольку:

- этот формат является машиночитаемым и удобочитаемым;
- имеется возможность проверки соответствия формата и типа;
- это международный стандарт для обмена данными.

Формат XML представляет собой обычный текст с открывающими и закрывающими блоками следующего вида:

```
<satellite_system>
</satellite_system>
```

Каждый раздел содержит поля, относящиеся к этому блоку.

Спутниковая система определяется на верхнем уровне с помощью ее идентификатора заявки и названия:

```
<satellite_system ntc_id="NNNNNNN" sat_name="NAME">
  [Header]
  [Tables]
</satellite_system>
```

Такая структура предусматривает наличие заголовка перед каждой таблицей.

В следующих разделах подробно описаны форматы для каждой маски.

4.2 Маска п.п.м. для э.п.п.м. (вниз)

Маска п.п.м. имеет следующий формат заголовка:

```
<pdf_mask mask_id="N" low_freq_mhz="F1" high_freq_mhz="F2" type="Type"
a_name="latitude" b_name="B" c_name="C">
```

где (см. таблицу 5):

ТАБЛИЦА 5

Формат заголовка маски п.п.м.

Поле	Тип или диапазон	Единицы измерения	Пример
mask_id	Целое	–	3
low_freq_mhz	Двойная точность	МГц	10 000
high_freq_mhz	Двойная точность	МГц	
type	{alpha_deltaLongitude, azimuth_elevation}	–	alpha_deltaLongitude
a_name	{latitude}	–	Широта
b_name	{alpha, azimuth}	–	Альфа
c_name	{deltaLongitude, elevation}	–	deltaLongitude

Для каждого a , b , c существуют массивы значений, например:

```
<by_a a="N">
</by_a>
```

Тогда все значения в пределах такой структуры "открытие/закрытие" относятся к $a = N$; подобная структура используется для значений b .

Наиболее близкая к центру группа содержит фактическое значение п.п.м., например:

```
<pdf c="0">-140</pdf>
```

Таким образом, пример маски п.п.м. будет иметь следующий вид:

```
<satellite_system ntc_id="12345678" sat_name="MySatName">
<pdf_mask mask_id="3" low_freq_mhz="10000" high_freq_mhz="40000"
type="alpha_deltaLongitude" a_name="latitude" b_name="alpha" c_name="deltaLongitude">
<by_a a="0">
  <by_b b="-180">
    <pdf c="-20">-150</pdf>
    <pdf c="0">-140</pdf>
    <pdf c="20">-150</pdf>
  </by_b>
  <by_b b="-8">
    <pdf c="-20">-165</pdf>
    <pdf c="0">-155</pdf>
    <pdf c="20">-165</pdf>
  </by_b>
  <by_b b="-4">
    <pdf c="-20">-170</pdf>
    <pdf c="0">-160</pdf>
    <pdf c="20">-170</pdf>
  </by_b>
</by_a>
```

```

<by_b b="0">
  <pdf c="-20">-180</pdf>
  <pdf c="0">-170</pdf>
  <pdf c="20">-180</pdf>
</by_b>
<by_b b="4">
  <pdf c="-20">-170</pdf>
  <pdf c="0">-160</pdf>
  <pdf c="20">-170</pdf>
</by_b>
<by_b b="8">
  <pdf c="-20">-165</pdf>
  <pdf c="0">-155</pdf>
  <pdf c="20">-165</pdf>
</by_b>
<by_b b="180">
  <pdf c="-20">-150</pdf>
  <pdf c="0">-140</pdf>
  <pdf c="20">-150</pdf>
</by_b>
</by_a>
</pdf_mask>
</satellite_system>

```

4.3 Маска э.и.и.м. для э.п.п.м. (вверх)

Маска п.п.м. имеет следующий формат заголовка:

```

<eirp_mask_es mask_id="N" low_freq_mhz="F1" high_freq_mhz="F2" min_elev="E"
d_name="separation angle" ES_ID = "-1">,

```

где (см. таблицу 6):

ТАБЛИЦА 6
Формат заголовка маски э.и.и.м. ЗС НГСО

Поле	Тип или диапазон	Единицы измерения	Пример
mask_id	Целое	–	1
low_freq_mhz	Двойная точность	МГц	10 000
high_freq_mhz	Двойная точность	МГц	
min_elev	Двойная точность	Градусы	10
d_name	{separation angle}	–	Угол разноса
ES_ID	Целое	–	12345678 –1, если не конкретный

В данном случае используются массивы значений э.и.и.м. для заданных внеосевых углов, например:

```
<eirp d="0">30.0206</eirp>
```

Таким образом, пример маски п.п.м. будет иметь следующий вид:

```
<satellite_system ntc_id="12345678" sat_name="MySatName">
  <eirp_mask_es mask_id="1" low_freq_mhz="10000" high_freq_mhz="40000" min_elev="0"
  d_name="separation angle", ES_ID=-1>
    <eirp d="0">30.0206</eirp>
    <eirp d="1">20.0206</eirp>
    <eirp d="2">12.49485</eirp>
    <eirp d="3">8.092568</eirp>
    <eirp d="4">4.9691</eirp>
    <eirp d="5">2.54634976</eirp>
    <eirp d="10">-4.9794</eirp>
    <eirp d="15">-9.381681</eirp>
    <eirp d="20">-12.50515</eirp>
    <eirp d="30">-16.90743</eirp>
    <eirp d="50">-18.9471149</eirp>
    <eirp d="180">-18.9471149</eirp>
  </eirp_mask_es>
</satellite_system>
```

4.4 Маска э.и.и.м. для э.п.п.м. (IS)

Маска п.п.м. имеет следующий формат заголовка:

```
<eirp_mask_ss mask_id="N" low_freq_mhz="F1" high_freq_mhz="F2" d_name="separation
angle">
```

где (см. таблицу 7):

ТАБЛИЦА 7

Формат заголовка маски э.и.и.м. спутника НГСО

Поле	Тип или диапазон	Единицы измерения	Пример
mask_id	Целое	–	1
low_freq_mhz	Двойная точность	МГц	10 000
high_freq_mhz	Двойная точность	МГц	
d_name	{separation angle}	–	Угол разноса

В этом случае используются массивы значений э.и.и.м. для заданных внеосевых углов, например:

```
<eirp d="0">30.0206</eirp>
```

Таким образом, пример маски п.п.м. будет иметь следующий вид:

```
<satellite_system ntc_id="12345678" sat_name="MySatName">
```

```
<eirp_mask_ss mask_id="2" low_freq_mhz="10000" high_freq_mhz="40000"
d_name="separation angle">
```

```
<eirp d="0">30.0206</eirp>
```

```
<eirp d="1">20.0206</eirp>
```

```
<eirp d="2">12.49485</eirp>
```

```
<eirp d="3">8.092568</eirp>
```

```
<eirp d="4">4.9691</eirp>
```

```
<eirp d="5">2.54634976</eirp>
```

```
<eirp d="10">-4.9794</eirp>
```

```
<eirp d="15">-9.381681</eirp>
```

```
<eirp d="20">-12.50515</eirp>
```

```
<eirp d="30">-16.90743</eirp>
```

```
<eirp d="50">-18.9471149</eirp>
```

```
<eirp d="180">-18.9471149</eirp>
```

```
</eirp_mask_ss>
```

```
</satellite_system>
```


ЧАСТЬ D

**Программное обеспечение для рассмотрения заявок
на регистрацию НГСО систем****1 Введение****1.1 Сфера рассмотрения**

Данный раздел представляет части документа с требованиями к программному обеспечению (SRD) для компьютерной программы, которая может использоваться БР для определения того, удовлетворяет ли предложенная администрацией конкретная система НГСО предельным уровням э.п.п.м.

Как видно из рисунка 1, существуют три ключевые задачи, которые должны решаться программным обеспечением:

- 1) определение количества выполняемых прогонов;
- 2) определение геометрии наихудшего случая для каждого прогона;
- 3) расчет статистики э.п.п.м. и проверка на соответствие предельным значениям для каждого прогона.

1.2 Предпосылки

В этом разделе предполагается использование следующих подходов.

Расчет э.п.п.м.↓. Каждый НГСО спутник характеризуется маской п.п.м., и значение п.п.м. для каждого спутника используется при расчете суммарной э.п.п.м.↓ на земной станции ГСО системы. Такой расчет повторяется для последовательности временных шагов, до тех пор пока не будет получено распределение э.п.п.м.↓. Это распределение можно затем сравнить с предельными уровнями для вынесения решения go/no go ("проверку прошел"/"не прошел").

Расчет э.п.п.м.↑. На поверхности Земли расположены соответствующим образом распределенные НГСО земные станции. Каждая земная станция ориентирована в направлении НГСО спутника с применением правил ориентирования для данной группировки и ведет передачу с определенной э.и.и.м. Исходя из этой э.и.и.м. и внеосевой диаграммы усиления для каждой земной станции можно вычислить э.п.п.м.↑ на ГСО. Такой расчет повторяется для последовательности временных шагов до получения распределения э.п.п.м.↑. Это распределение можно затем сравнить с предельными уровнями для вынесения решения go/no go.

Расчет э.п.п.м._{IS}. Исходя из э.и.и.м. и внеосевой диаграммы усиления для каждой космической станции можно вычислить э.п.п.м._{IS} на ГСО космической станции. Такой расчет повторяется для последовательности временных шагов до получения распределения э.п.п.м._{IS}. Это распределение можно затем сравнить с предельными уровнями для вынесения решения go/no go.

Документ SRD содержит подробные алгоритмы, которые позволят любым заинтересованным сторонам реализовать данные расчеты в программном обеспечении без ссылок на какую-либо конкретную методику разработок.

1.3 Обзор

Этот раздел включает следующие пункты.

- п. 2. Определение количества выполняемых прогонов.
- п. 3. Геометрия наихудшего случая (WCG).
- п. 4. Расчет размера и количества временных шагов.
- п. 5. Описание расчета э.п.п.м.
- п. 5.1. Описание программного обеспечения э.п.п.м.↓.

- п. 5.2. Описание программного обеспечения э.п.п.м.↑.
- п. 5.3. Описание программного обеспечения э.п.п.м.↓.
- п. 6. Геометрия и алгоритмы.
- п. 7. Структура и формат результатов.

Следует отметить, что когда квадратные скобки включаются как часть названия параметра, это означает индекс в массиве, а не временный текст.

1.4 Основные допущения и ограничения

Основным ограничением по созданию статистики э.п.п.м. является

размер бина (элемента дискретизации): $S_B = 0,1$ дБ.

Для того чтобы соответствовать оценочному алгоритму в п. D.7.1.3, расчет значений э.п.п.м. для каждого временного шага должен быть округлен до меньших значений с максимальной точностью 0,1 дБ.

Расчет угла к дуге ГСО, α и X , как описывается в п. D.6.4.4, основывается на ряде испытательных точек при заданном разnose между ними:

разнос между испытательными точками ГСО – $1e-5$ радиан.

1.5 База данных и интерфейс

Везде, где это возможно, входные данные для установления пределов э.п.п.м. и расчета усиления антенны следует брать из SRS или других баз данных и наряду с ними использовать ресурсы БР, такие как библиотеки DLL.

2 Определение количества выполняемых прогонов

2.1 Прогоны по Статье 22

Для прогона по Статье 22 главная задача состоит в том, чтобы определить, какие прогоны должны выполняться для заявки на НГСО и какие для пределов э.п.п.м., указанных в PP.

Для всех масок э.и.и.м. ЗС в заявке на НГСО

```
{
    Получите диапазон частот маски э.и.и.м. ЗС ( $f_{min}$ ,  $f_{max}$ )
    Из LimitsAPI запросите все пределы э.п.п.м. (вверх) в диапазоне ( $f_{min}$ ,  $f_{max}$ )
    Для всех полученных пределов э.п.п.м. (вверх)
    {
        Задайте FrequencyRun =  $\max(f_{min}(mask), f_{min}(limits)) + RefBW/2$ 
        CreateRun:
            Direction = Up
            Frequency = FrequencyRun
            Sat_Beamwidth = Из Limits API
            Sat_GainPattern = Из Limits API
            epfd_Threshold = Из Limits API
            Ref_BW = Из Limits API
    }
}
```

Для всех масок п.п.м. в заявке на НГСО

```
{
    Получите диапазон частот маски п.п.м. ( $f_{min}$ ,  $f_{max}$ )
    Из LimitsAPI запросите все пределы э.п.п.м. (вниз) для ФСС в диапазоне ( $f_{min}$ ,  $f_{max}$ )
}
```

Для всех полученных пределов э.п.п.м. (вниз)

```
{
    Задайте FrequencyRun = max( $f_{min}$ (mask),  $f_{min}$ (limits)) + RefBW/2
    CreateRun:
        Direction = Down
        Service = FSS
        Frequency = FrequencyRun
        ES_DishSize = Из Limits API
        ES_GainPattern = Из Limits API
        epfd_Threshold = Из Limits API
        Ref_BW = Из Limits API
}
```

Из LimitsAPI запросите все пределы э.п.п.м. (вниз) для РСС в диапазоне (f_{min} , f_{max})

Для всех полученных пределов э.п.п.м. (вниз)

```
{
    Задайте FrequencyRun = max( $f_{min}$ (mask),  $f_{min}$ (limits)) + RefBW/2
    CreateRun:
        Direction = Down
        Service = BSS
        Frequency = FrequencyRun
        ES_DishSize = Из Limits API
        ES_GainPattern = Из Limits API
        epfd_Threshold = Из Limits API
        Ref_BW = Из Limits API
}
```

Для всех масок э.и.и.м. в заявке на НГСО

```
{
    Получите диапазон частот маски э.и.и.м. спутника ( $f_{min}$ ,  $f_{max}$ )
    Из LimitsAPI запросите все пределы э.п.п.м. (IS) в диапазоне ( $f_{min}$ ,  $f_{max}$ )
    Для всех полученных пределов э.п.п.м. (IS)
    {
        Задайте FrequencyRun = max( $f_{min}$ (mask),  $f_{min}$ (limits)) + RefBW/2
        CreateRun:
            Direction = Intersatellite
            Frequency = FrequencyRun
            Sat_Beamwidth = Из Limits API
            Sat_GainPattern = Из Limits API
            epfd_Threshold = Из Limits API
            Ref_BW = Из Limits API
        }
    }
}
```

2.2 Статья 9.7А

Для прогонов по Статье 9.7А критерии и пороговые значения определяются в Приложении 5 Регламента радиосвязи. Такие прогоны создаются следующим образом:

Если выбранная земная станция удовлетворяет критериям Приложения 5

```
{
    Получите диапазон частот выбранной ЗС ( $f_{min}$ ,  $f_{max}$ )
    Получите данные обо всех сетях НГСО в SRS, которые перекрывают этот диапазон частот
    Для каждой полученной сети НГСО
    {
        Для всех масок п.п.м. в заявке на НГСО
```

```

{
    Получите диапазон частот маски п.п.м. Mask( $f_{min}$ ,  $f_{max}$ )
    При перекрытии ЗС( $f_{min}$ ,  $f_{max}$ ) маской Mask( $f_{min}$ ,  $f_{max}$ )
    {
        Получите RefBW из Приложения 5
        Задайте FrequencyRun = max(ES_ $f_{min}$ , Mask_ $f_{min}$ ) + RefBW/2
        CreateRun:
            Direction = Down
            Frequency = FrequencyRun
            ES_DishSize = Из заявки на ЗС
            ES_GainPattern = Из заявки на ЗС
            epdf_Threshold = Из Приложения 5
            Ref_BW = Из Приложения 5
    }
}
}
}

```

2.3 Статья 9.7В

Для прогонов по Статье 9.7В критерии и пороговые значения определяются в Приложении 5 Регламента радиосвязи. Такие прогоны создаются следующим образом:

Для всех масок п.п.м. в заявке на НГСО

```

{
    Получите диапазон частот маски п.п.м. Mask( $f_{min}$ ,  $f_{max}$ )
    Получите данные обо всех ЗС в SRS, которые перекрывают этот диапазон частот
    Для каждой полученной ЗС
    {
        Если земная станция удовлетворяет критериям в Приложении 5
        {
            Получите диапазон частот ЗС( $f_{min}$ ,  $f_{max}$ )
            Получите RefBW из Приложения 5
            Задайте FrequencyRun = max(ES_ $f_{min}$ , Mask_ $f_{min}$ ) + RefBW/2
            CreateRun:
                Direction = Down
                Frequency = FrequencyRun
                ES_DishSize = Из заявки на ЗС
                ES_GainPattern = Из заявки на ЗС
                epdf_Threshold = Из Приложения 5
                Ref_BW = Из Приложения 5
        }
    }
}
}
}

```

3 Геометрия наихудшего случая (WCG)

3.1 WCG для э.п.п.м.↓

3.1.1 Входные данные

Входные данные для алгоритма:

- пfd_mask : маска п.п.м. для проверки;
- α : угол отклонения системы НГСО от дуги ГСО;
- h : минимальная рабочая высота системы НГСО;
- ε : минимальный угол места системы НГСО;
- i : угол наклона системы НГСО;
- ES : параметры земной станции (ЗС), в том числе диаграмма усиления.

3.1.2 Алгоритм

В этом разделе описывается алгоритм определения геометрии наихудшего случая (WCG) для направления э.п.п.м. (вниз).

Следует отметить, что на различных частотах возможны разные маски п.п.м. Предполагается, что данная процедура повторяется для всех допустимых диапазонов частот.

WCG основывается на поиске в зоне (θ, φ) , видимой со спутника НГСО, при этом особое внимание уделяется району $(-\alpha_0, +\alpha_0)$, включая $\alpha = 0$. Этот поиск повторяется для ряда широт, на которых проводятся испытания спутника НГСО. Кроме того, проводятся специальные проверки на самых высоких широтах, на которых $\alpha = \{-\alpha_{0,0}, +\alpha_0\}$, для обеспечения совместимости с методикой из Рекомендации МСЭ-R S.1714.

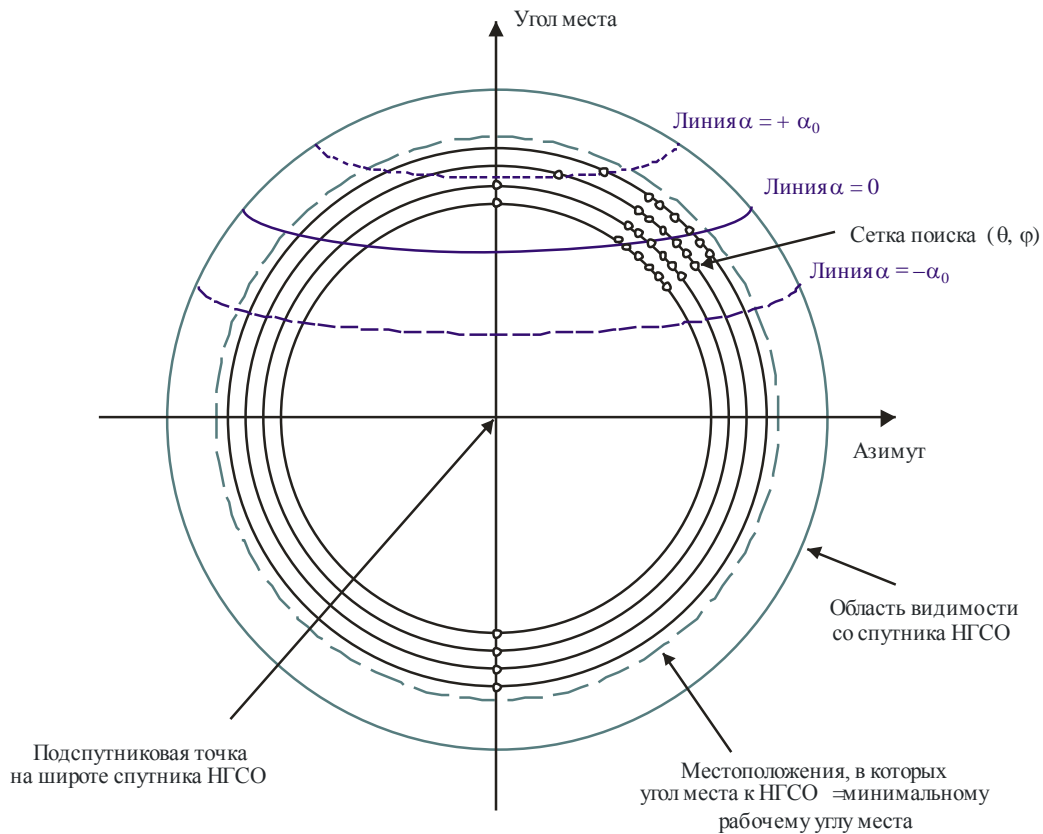
Для каждой рассматриваемой испытательной точки данный алгоритм рассчитывает уровень э.п.п.м. исходя из маски п.п.м. и усиления приемной антенны, а затем проводит сравнение с пороговыми значениями для соответствующей широты.

Вполне вероятно, что несколько испытательных точек будут иметь одинаковую разность между уровнем э.п.п.м. и пороговым значением. Чтобы понять, что следует использовать в качестве WCG, необходимо рассчитать угловую скорость спутника НГСО, видимого с ЗС. Выбор геометрии осуществляется следующим образом:

- определяется наибольшая разность между уровнем э.п.п.м. и пороговым значением для разрешающей способности по полученным статистическим данным (0,1 дБ);
- если условиям точки 1 удовлетворяет несколько геометрий, выберите ту, которая обеспечит наименьшую угловую скорость спутника, видимого с ЗС.

Алгоритм поиска показан на рисунке 12.

РИСУНОК 12
Сетка поиска (θ , φ) для WCG



S.1503-12

Алгоритм описывается следующим псевдокодом:

WCGA_Down:

Задайте WorstEPFDBin = -9999

Задайте WorstAngularVelocity = +9999

Для всех спутников в порядке, указанном в базе данных МСЭ

{

 Определите маску п.п.м. для использования с этим спутником

 Если эта маска п.п.м. не проверена, тогда

 Вызвать GetWCGA_Down

 Конец, если

Следующий спутник

GetWCGA_Down (PFD_Mask, α_0 , ϵ_0 , ЗС):

 StepSize = min(ES.Beamwidth, PFD_Mask_StepSize) / N_{hits}

Если ($i = 0$)

{

 CheckWCG_Down (широта = 0)

}

Иначе

{

 LatNumSteps = RoundUp($i / \text{StepSize}$)

 Для $n = 0$ до LatNumSteps включительно

 {

 широта = $i * n / \text{LatNumSteps}$

```

    CheckWCG_Down(широта)
    Если ( $n > 0$ )
    {
        CheckWCG_Down(-широта)
    }
}
CheckExtremeWCG( $\alpha = 0$  и  $\theta = +\pi/2$ )
CheckExtremeWCG( $\alpha = 0$  и  $\theta = -\pi/2$ )
Если ( $\alpha_0 > 0$ )
{
    CheckExtremeWCG( $\alpha = -\alpha_0$  и  $\theta = +\pi/2$ )
    CheckExtremeWCG( $\alpha = -\alpha_0$  и  $\theta = -\pi/2$ )
    CheckExtremeWCG( $\alpha = +\alpha_0$  и  $\theta = +\pi/2$ )
    CheckExtremeWCG( $\alpha = +\alpha_0$  и  $\theta = -\pi/2$ )
}
}

```

CheckWCG_Down(широта) :

Определите положение спутника НГСО по широте

Рассчитайте φ_0 для угла места ϵ_0 и радиус r

CheckCase(широта, $\theta = 0$, $\varphi = 0$)

PhiSteps = RoundUp($\varphi_0 / \text{StepSize}$)

Для $\varphi = \text{PhiStepSize}$ до φ_0 , входящего в шаги PhiSteps

```

{
    ThetaMin =  $-\pi/2$ 
    ThetaMax =  $+3\pi/2$ 
    Если маска п.п.м. симметрична по DeltaLong или азимуту
        ThetaMax =  $\pi/2$ 
    NumThetaSteps = RoundUp( $2\pi\varphi / \text{PhiStepSize}$ )
    ThetaStepSize = (ThetaMax-ThetaMin)/NumThetaSteps
    Для ThetaStep = 0 до NumThetaSteps включительно
    {
         $\theta = \text{ThetaMin} + \text{ThetaStep} * \text{ThetaStepSize}$ 
        CheckCase(широта,  $\theta$ ,  $\varphi$ )
    }
    Если можно рассчитать  $\theta$ , соответствующее  $\alpha = 0$ 
        CheckCase(широта,  $\theta$ ,  $\varphi$ )
    Если ( $\alpha_0 > 0$ )
    {
        Если можно рассчитать  $\theta$ , соответствующее  $\alpha = -\alpha_0$ 
            CheckCase(широта,  $\theta$ ,  $\varphi$ )
        Если можно рассчитать  $\theta$ , соответствующее  $\alpha = +\alpha_0$ 
            CheckCase(широта,  $\theta$ ,  $\varphi$ )
    }
}
Если маска не симметрична, то повторите для другого полушария
}

```

CheckCase (широта, θ , φ):

```

Преобразуйте ( $\theta$ ,  $\varphi$ ) в ( $az$ ,  $el$ )
Постройте линию от спутника  $N$  НГСО в направлении ( $az$ ,  $el$ )
Определите точку  $P$ , в которой линия пересекает Землю
В точке  $P$  рассчитайте углы ( $\alpha$ ,  $X$ ,  $\Delta long$ ) в отношении точки  $N$ 
В точке  $P$  рассчитайте AngularVelocity по нижеследующему методу
Рассчитайте п.п.м. по значениям маски, широты и ( $az$ ,  $el$ ,  $\alpha$ ,  $X$ ,  $\Delta long$ )
Рассчитайте  $G_{rel}(\alpha)$ 
Рассчитайте EPFDThreshold по ширине точки  $P$ 
Рассчитайте EPFDMargin = PFD +  $G_{rel}(\alpha)$  - EPFDThreshold
Рассчитайте EPFDBin = EPFDMargin/BinSize
Если WorstEPFDBin < EPFDBin
{
    WorstEPFDBin = EPFDBin
    Worst AngularVelocity = AngularVelocity
    Сохраните это значение ( $N$ ,  $P$ )
}
Иначе, если (WorstEPFDBin = EPFDBin &&
    WorstAngularVelocity > AngularVelocity)
{
    WorstAngularVelocity = AngularVelocity
    Сохраните это значение ( $N$ ,  $P$ )
}

```

CheckExtremeWCG (α , θ):

```

Выполните итерацию значений истинной аномалии пока не будет найдена широта
для ( $\alpha$ ,  $\theta$ )
Рассчитайте  $\varphi_0$  на этой широте
CheckCase (широта,  $\theta$ ,  $\varphi_0$ )

```

Этот алгоритм использует геометрию, описываемую в следующих разделах.

3.1.3 Геометрия

3.1.3.1 Преобразование между (az , el) и (θ , φ)

Можно использовать следующие уравнения:

$$\cos(\varphi) = \cos(az) \cos(el);$$

$$\sin(el) = \sin(\theta) \sin(\varphi).$$

3.1.3.2 Установка спутника по широте

Ключевыми этапами этого алгоритма являются расчеты векторов позиции и скорости спутника НГСО и ЗС. Широту можно использовать для получения истинной аномалии (v) с помощью формулы

$$\sin(\omega + v) = \frac{\sin lat}{\sin i}.$$

Для получения векторов позиции и скорости можно использовать следующие уравнения.

В плоскости спутника:

$$r_{sat} = r_{sat} (\cos v \underline{P} + \sin v \underline{Q});$$

$$\underline{v}_{sat} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} (-\sin v \underline{P} + (e + \cos v) \underline{Q}),$$

где:

P, Q : единичные векторы в орбитальной плоскости с началом в центре Земли и P , привязанные к главным осям орбиты;

a, e, v : элементы орбиты.

Кроме того,

$$r_{sat} = \frac{p}{1 + e \cos v};$$

$$p = a(1 - e^2).$$

Векторы позиции и скорости НГСО можно преобразовать из системы координат орбитальной плоскости PQW в векторы с началом в центре Земли, используя стандартную матрицу поворота по элементам орбиты (Ω, ω, i). Предполагается, что эффекты второго порядка, включая коэффициент J_2 , можно не рассматривать.

Уравнение вектора позиции можно также использовать для расчета широты из истинной аномалии (v), а затем с помощью итерации найти спутник на требуемой широте.

3.1.3.3 Расчет максимального угла ϕ в точке наблюдения со спутника

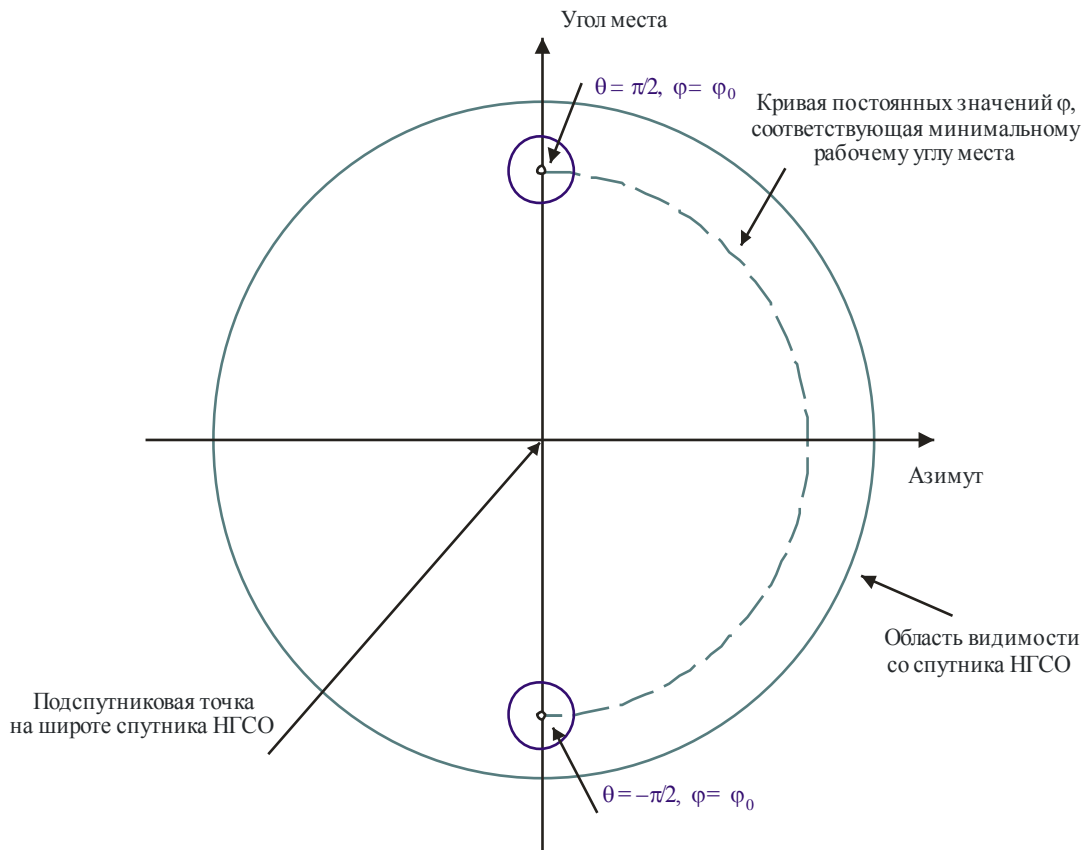
Для заданной широты, а следовательно и радиуса спутника, максимальный угол для спутника от подспутниковой точки ϕ_0 можно получить из угла места ε по формуле

$$\sin(\phi_0) = \frac{R_e}{r_{sat}} \sin\left(\frac{\pi}{2} + \varepsilon\right).$$

3.1.3.4 Расчет угла альфа для максимального угла ϕ в точке наблюдения со спутника

Для заданной широты, а следовательно и радиуса спутника, максимальный угол для спутника от подспутниковой точки ϕ_0 можно получить из угла места ε по приведенной выше формуле. В этом случае будут две экстремальные точки, как показано на рисунке 13.

РИСУНОК 13

Предельные случаи для получения угла α 

S.1503-13

Тогда значение альфа в экстремальной точке можно вычислить следующим образом:

- преобразовать заданные значения (θ, φ) в (азимут, угол места);
- рассчитать линию от спутника НГСО в направлении (азимут, угол места);
- рассчитать ближайшую точку пересечения P с радиусом Земли R_e ;
- в точке P рассчитать угол α спутника НГСО.

3.1.3.5 Расчет угловой скорости

Входные данные:

вектор позиции ЗС:	\underline{r}_{es} ;
вектор скорости ЗС:	\underline{v}_{es} ;
вектор позиции спутника НГСО:	\underline{r}_{sat} ;
вектор скорости спутника НГСО:	\underline{v}_{sat} .

Отсюда можно вычислить кажущуюся скорость и вектор от ЗС к спутнику:

$$\underline{r} = \underline{r}_{sat} - \underline{r}_{es};$$

$$\underline{v} = \underline{v}_{sat} - \underline{v}_{es}.$$

Угол между этими двумя векторами можно рассчитать по формуле:

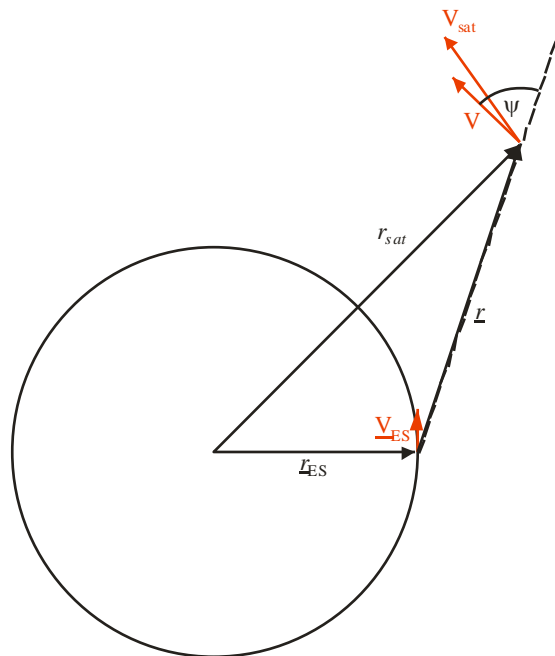
$$\cos \psi = \frac{\underline{r} \cdot \underline{v}}{r v}.$$

Тогда мгновенная угловая скорость будет иметь вид:

$$\theta = \frac{v}{r} \sin \psi.$$

Различные параметры показаны на рисунке 14.

РИСУНОК 14
Векторы для расчета кажущейся угловой скорости спутника НГСО



S.1503-14

Следует отметить, что низкая угловая скорость ведет к более высокой вероятности возникновения помех, из чего следует, что для заданного уровня э.п.п.м. нужно использовать WCG с наименьшей кажущейся угловой скоростью.

Вектор скорости ЗС может быть получен из вектора позиции (x, y, z) по следующей формуле:

$$\underline{v}_{es} = w_e \begin{pmatrix} -y \\ x \\ \mathbf{0} \end{pmatrix},$$

где w_e – угловая скорость Земли в радианах в секунду.

3.1.3.6 Нахождение широты исходя из (α, h, ϵ)

В этом разделе описывается, как перейти от α, h, ϵ к широте НГСО. Предполагается, что спутник находится на самой высокой широте, где соответствующая линия α пересекает точку, в которой угол места – это ϵ , а $\theta = \pi/2$, как показано на рисунке 15.

РИСУНОК 15

Вычисление самой высокой широты для заданного значения α



S.1503-15

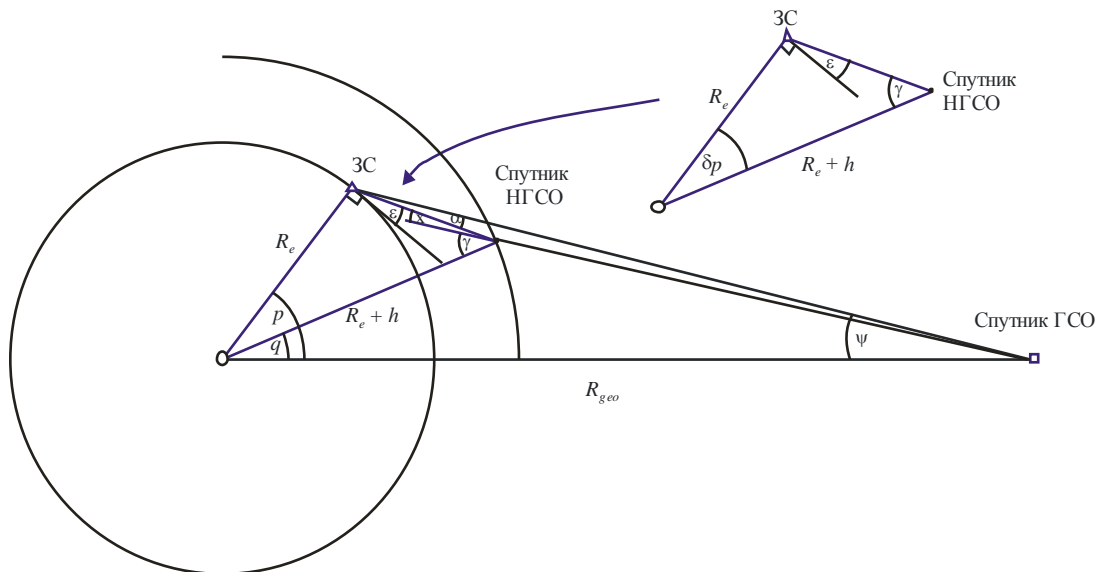
Этот метод различается в зависимости от того, является ли угол α положительным или отрицательным, как отмечено в следующих двух подразделах.

3.1.3.7 Нахождение широты исходя из (α, h, ϵ) при $\alpha \geq 0$

Геометрия для этого случая показана на рисунке 16.

РИСУНОК 16

Самая высокая широта для $\alpha \geq 0$



S.1503-16

Отсюда следует, что углы можно вычислить по формулам:

$$\psi = \arcsin \left(\frac{R_e}{R_{geo}} \sin \left(\frac{\pi}{2} + \epsilon + \alpha \right) \right);$$

$$p = \frac{\pi}{2} - \psi - \varepsilon - \alpha;$$

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{R_e}{R_e + h} \sin\left(\frac{\pi}{2} + \varepsilon\right)\right);$$

$$\delta p = \frac{\pi}{2} - \gamma - \varepsilon;$$

$$q = p - \delta p.$$

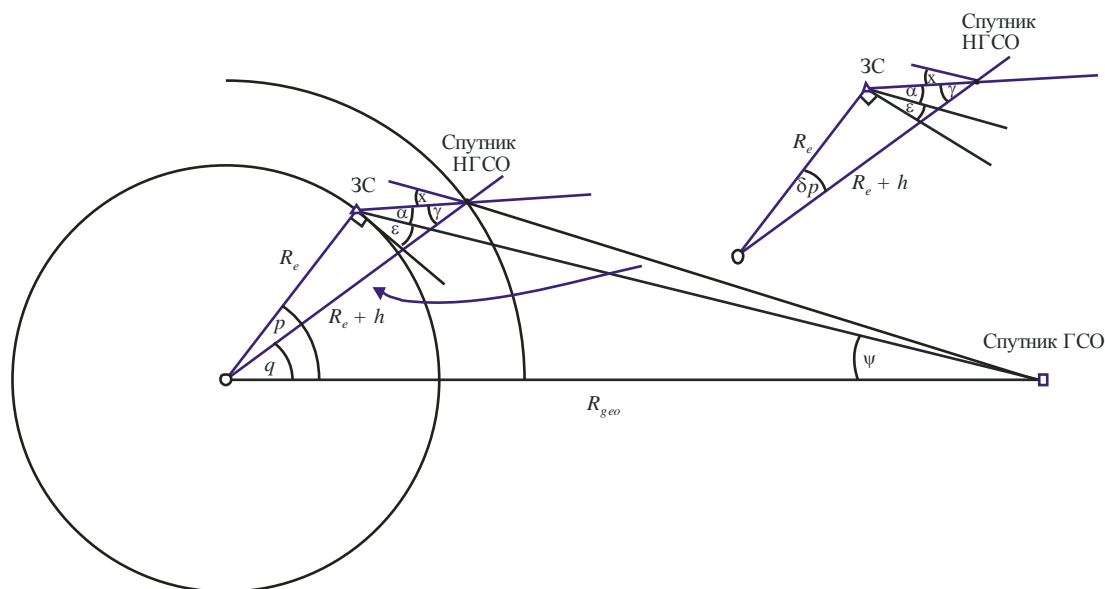
Следует отметить, что данный способ подходит только при $\varepsilon + \alpha < \pi/2$. В тех случаях, когда $\varepsilon + \alpha \geq \pi/2$, должен устанавливаться флаг ошибки. При необходимости используйте $p = q = 0$.

3.1.3.8 Нахождение широты исходя из (α, h, ε) для $\alpha < 0$

Геометрия этого случая показана на рисунке 17.

РИСУНОК 17

Самая высокая широта для $\alpha < 0$



S.1503-17

Отсюда следует, что углы можно вычислить по формулам:

$$\psi = \arcsin\left(\frac{R_e}{R_{geo}} \sin\left(\frac{\pi}{2} + \varepsilon\right)\right);$$

$$p = \frac{\pi}{2} - \psi - \varepsilon;$$

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{R_e}{R_e + h} \sin\left(\frac{\pi}{2} + \varepsilon + \alpha\right)\right);$$

$$\delta p = \frac{\pi}{2} - \gamma - \varepsilon - \alpha;$$

$$q = p - \delta p.$$

Следует отметить, что данный способ подходит только при $\varepsilon + \alpha < \pi/2$. В тех случаях, когда $\varepsilon + \alpha \geq \pi/2$, должен устанавливаться флаг ошибки. При необходимости используйте $p = q$.

3.1.3.9 Нахождение (θ, φ) из (широта, α, h, ε)

В этом случае предполагается, что спутник НГСО находится на заданной широте (которая может являться наклоном орбиты), и из значений α, h, ε можно получить угол θ .

СО спутника показана на рисунке 18.



S.1503-18

Сначала вычисляется угол φ_0 по формуле:

$$\sin(\varphi_0) = \frac{R_e}{R_e + h} \sin\left(\frac{\pi}{2} + \varepsilon\right).$$

После этого для получения результата используется алгоритм двоичного поиска, имеющий следующий вид:

FindThetaPhiFromAlpha (lat, α, h, ε):

Определите положение спутника НГСО на широте = lat

Phi0 = GetPhiZero(h, ε) из уравнения выше

Theta0 = $-\pi/2$

Theta1 = $+\pi/2$

Alpha0 = GetAlpha(Theta0, Phi0)

```

Alpha1 = GetAlpha(Theta1, Phi0)
Если Alpha0 <  $\alpha$ , то
{
    Вернуть ошибку с (Theta0, Phi0) в качестве ближайших углов
}
Иначе, если Alpha1 >  $\alpha$ 
{
    Вернуть ошибку с (Theta1, Phi0) в качестве ближайших углов
}
Пока (Theta1 - Theta0 < 1e-6)
{
    Theta2 = (Theta1 + Theta0)/2
    Alpha2 = GetAlpha(Theta2, Phi0)
    Если (Alpha2 >  $\alpha$ )
    {
        Theta1 = Theta2
        Alpha1 = Alpha2
    }
    Иначе
    {
        Theta0 = Theta2
        Alpha0 = Alpha2
    }
}
Вернуть (Theta1, Phi0) и ok

```

GetAlpha(θ , φ):

Преобразуйте (θ , φ) в (az , el)
 Постройте линию от спутника НГСО в направлении (az , el)
 Определите точку P, в которой линия пересекает Землю
 В точке P рассчитайте α
 Вернуть α

3.2 WCG для э.п.м.↑

3.2.1 Входные данные

Входные данные для алгоритма:

ES_eirp: маска э.и.и.м. ЗС НГСО для проверки;
 θ_{dB} : ширина луча спутника ГСО по половинной мощности;
 ε : минимальный угол места системы ГСО;

a , i , e , Ω , ω , v : параметры наклона орбиты системы НГСО.

3.2.2 Алгоритм

WCGA для э.п.м. (вверх)

WCGA_UP:

Рассчитайте φ_0
 Из φ_0 рассчитайте Lat_{BS}
 Если маска э.и.и.м. одинакова для всех ЗС и ЗС из плотности

```

Если орбита ( $e = 0, i > 0$ )
    WCG(lat, Δlong) = {LatBS, 0}
Если орбита ( $e = 0, i = 0$ )
    WCG(lat, Δlong) = {0, LatBS}
Если орбита ( $e > 0$ ) и апогей находится в северном полушарии
    WCG(lat, Δlong) = {LatBS, 0}
Если орбита ( $e > 0$ ) и апогей находится в южном полушарии
    WCG(lat, Δlong) = {-LatBS, 0}
Иначе
    Если ЗС из плотности
        Если ( $i = 0$ )
            Вызвать WCGA_UP_Equatorial_all
        Иначе
            Вызвать WCGA_UP_General
        Endif
    Иначе
        Если трасса спутника ГСО повторяется
            Вызвать WCGA_UP_SpecificES_Repeating
        Иначе
            Вызвать WCGA_UP_SpecificES_NonRepeating
        Endif
    Endif
Endif

```

В следующих разделах описываются различные случаи с их функциями и геометрией.

3.2.3 Геометрия

3.2.3.1 Общие положения

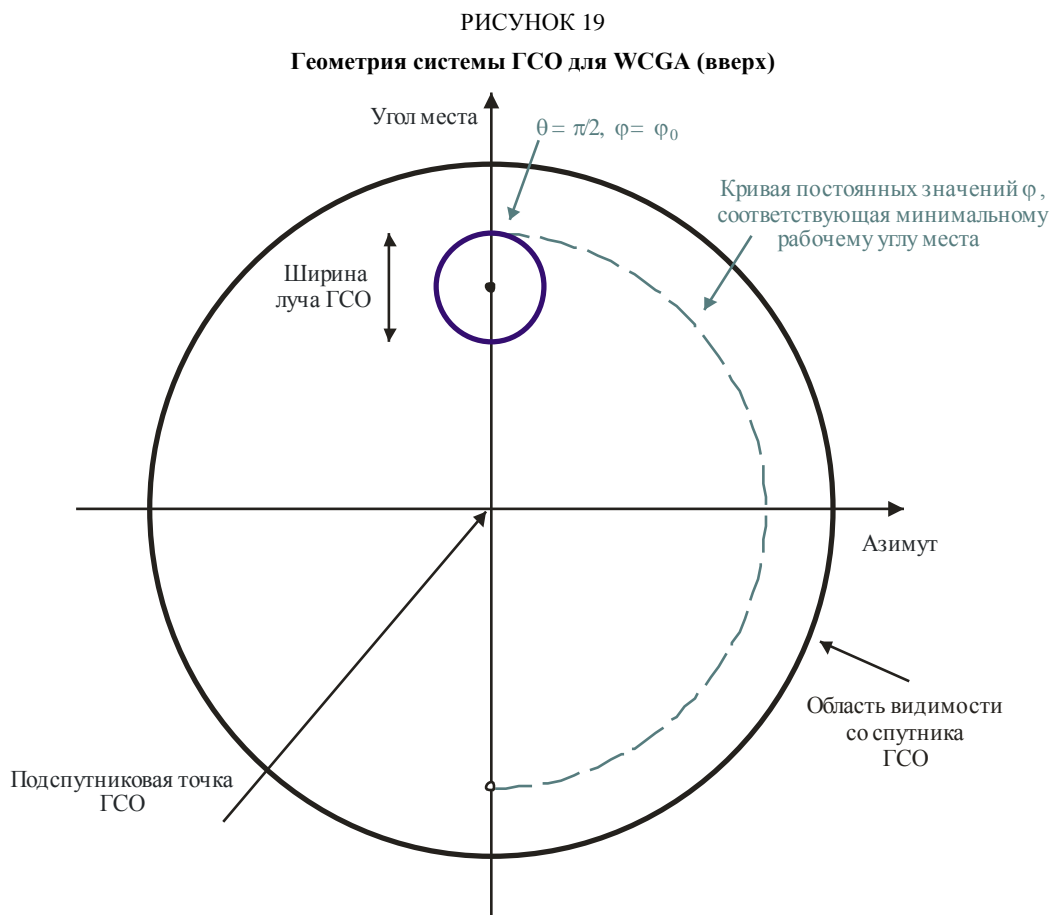
Как правило, э.п.п.м. наихудшей единичной помехи возникает в том случае, когда ЗС находится в зоне действия главного луча спутника ГСО и направлена на него как можно точнее. Наиболее точное направление ЗС на ГСО определяется размером зоны исключения, следовательно, э.п.п.м. наихудшей единичной помехи определяется по формуле

$$EPFD = EIRP(\alpha_0) - 10\log_{10}(4\pi D^2),$$

где D – это расстояние от ЗС до спутника ГСО.

Это дает наихудшую единичную помеху. Суммарная э.п.п.м. также зависит от зоны покрытия луча ГСО, обусловленной углом падения.

Взаимосвязь геометрии системы ГСО с WCGA (вверх) показана на рисунке 19.



S.1503-19

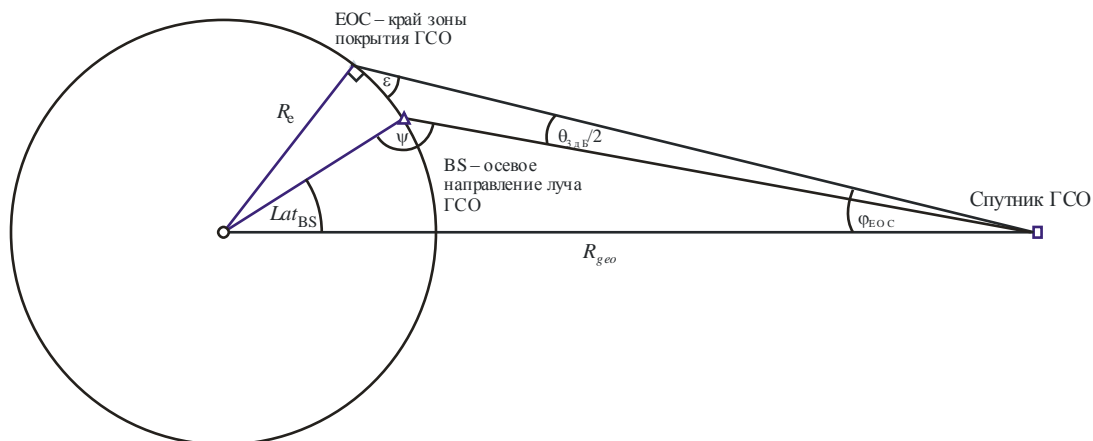
Следует отметить, что для систем НГСО на круговой орбите с глобальным покрытием:

- охватываемый лучом район на поверхности Земли (а значит, и орбитальная оболочка спутниковой группировки НГСО) наиболее удален от подспутниковой точки, следовательно, при постоянной плотности земных станций (ЗС) на более высоких широтах будет большее их количество;
- с увеличением широты будет расти вероятность нахождения спутника НГСО в заданном диапазоне широт;
- по эксплуатационным соображениям система ГСО будет иметь минимальный угол места.

Исходя из этих ограничений широту осевого направления луча ГСО можно рассчитать по предполагаемому минимальному углу места и ширине главного лепестка, взятой из пределов э.п.п.м., указанных в Статье 22 РР.

РИСУНОК 20

Углы наведения ГСО для геометрии WCGA (IS)



S.1503-20

Отсюда можно вычислить широту ЗС по следующей формуле:

$$\sin \varphi_{EOC} = \frac{R_e}{R_{geo}} \sin \left(\frac{\pi}{2} + \varepsilon \right);$$

$$\varphi_{BS} = \varphi_{EOC} - \frac{\theta_{adB}}{2}.$$

Тогда, учитывая что $\psi > \pi/2$:

$$\sin(\pi - \psi) = \frac{R_{geo}}{R_e} \sin(\varphi_{BS}).$$

Следовательно:

$$Lat_{BS} = \pi - \varphi_{BS} - \psi.$$

Эти уравнения можно использовать для вычисления значений в таблице 8.

ТАБЛИЦА 8

Геометрия WCG (вверх) для ограниченных сценариев

Диапазон частот	Ku	Ka
Ширина главного лепестка (градусы)	4	1,55
Минимальный угол места (градусы)	10	20
Широта	42,5	50,9

Данный способ подходит для следующих случаев:

- глобальное покрытие систем НГСО на круговой орбите с одной маской э.и.и.м.;
- глобальное покрытие систем НГСО на эллиптической орбите с апогеем в северном полушарии и одной маской э.и.и.м.

Необходимо внести небольшие изменения, чтобы узнать расположение WCG для экваториальных систем и систем НГСО, имеющих эллиптические орбиты с апогеем в южном полушарии, в которых используется одна маска э.и.и.м., как показано на рисунке 21.



S.1503-21

Анализ WCG (вверх) позволяет предположить, что существуют три частных случая, которые следует рассмотреть:

- 1) системы с экваториальной орбитой, в которых э.и.и.м. зависит от широты;
- 2) случаи, когда ЗС расположены в определенных местах, а не распределены равномерно;
- 3) общий случай, когда э.и.и.м. ЗС зависит от широты.

Они рассматриваются в следующих разделах.

Следует отметить, что предельные уровни э.п.п.м. (вверх) из Статьи 22 должны соблюдаться в течение 100% времени, превышение допускается для 0% по времени, таким образом, фактор времени не имеет большого значения.

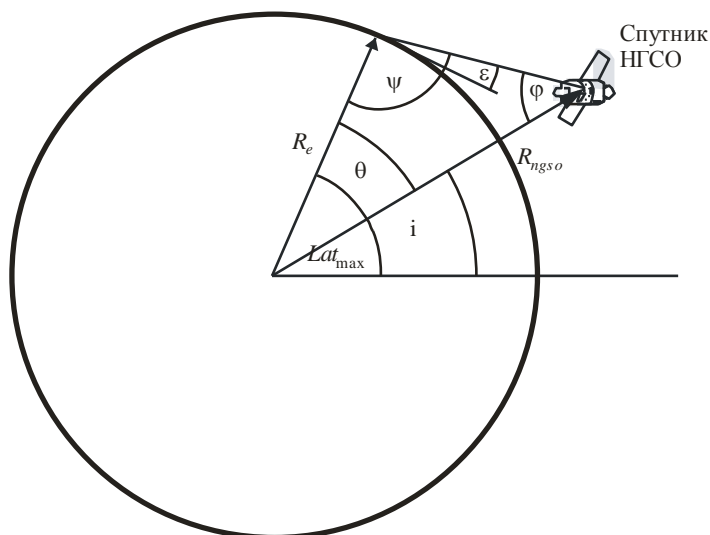
3.2.3.2 Диапазон по широте

При расчете WCG (вверх) и э.п.п.м. (вверх) необходимо определить, где может находиться ЗС. В то время как большинство систем типа А и В имеют глобальное покрытие, сети НГСО типа С ограничены диапазоном широт.

Диапазон широт можно определить по высоте спутника, углу наклона и минимальному рабочему углу места для ЗС, как показано на рисунке 22.

РИСУНОК 22

Расчет максимальной широты для земных станций



S.1503-22

Для эллиптических систем существует два значения – одно для апогея, а другое для перигея. Таким образом, входные данные будут иметь следующий вид:

большая полуось орбиты (км):	a ;
эксцентриситет орбиты:	e ;
минимальные угол места (радианы):	ε ;
угол наклона (радианы):	i .

По этим параметрам можно провести следующие расчеты:

$$r_a = a(1 + e);$$

$$\psi = \frac{\pi}{2} + \varepsilon;$$

$$\varphi_a = \sin^{-1} \left(\frac{R_e}{r_a} \sin \psi \right);$$

$$\theta_a = \pi - (\psi + \varphi_a).$$

Тогда:

$$Lat_{\max} = i + \theta_a.$$

Аналогичным образом, используя:

$$r_p = a(1 - e),$$

с помощью тех же уравнений, заменив (a) на (p), можно вычислить следующее:

$$Lat_{\min} = -i - \theta_p.$$

При этом предполагается, что для эллиптических систем апогей находится в северном полушарии, то есть одно из следующих условий является действительным:

$$e = 0;$$

$$\omega = 270^\circ,$$

где:

ω : аргумент перигея.

В случае если:

$$e > 0;$$

$$\omega = 90^\circ,$$

необходимо внести следующие установки:

$$Lat_{\max}' = -Lat_{\min};$$

$$Lat_{\min}' = -Lat_{\max}.$$

При нулевом наклонении орбиты и нулевом эксцентриситете (например, для круговой экваториальной орбиты) эти уравнения сводятся к виду:

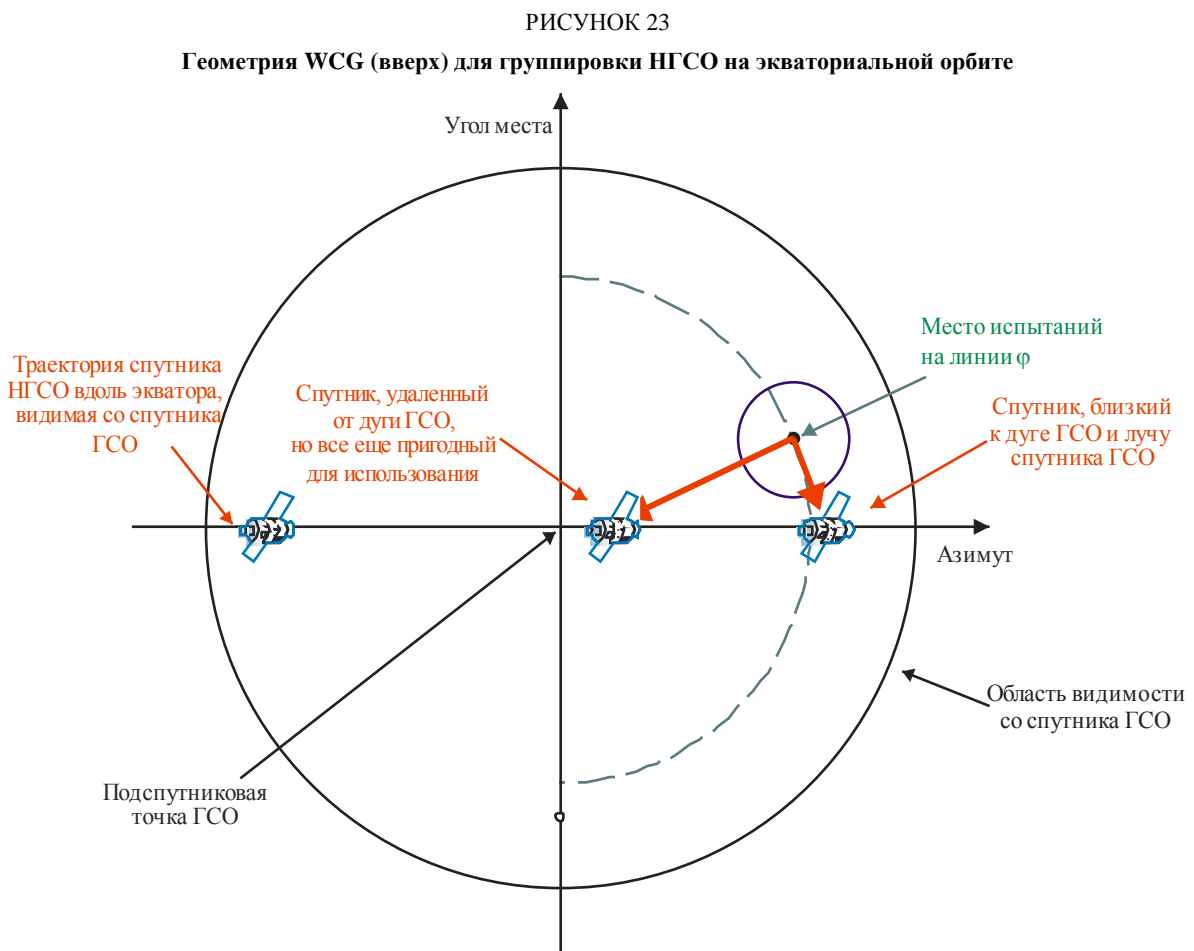
$$Lat_{\max} = \theta;$$

$$Lat_{\min} = -\theta.$$

3.2.3.3 Экваториальные орбиты с несколькими масками э.и.и.м.

3.2.3.3.1 Введение

Сценарий для систем НГСО с экваториальными орбитами и зависящими от широты масками э.и.и.м. показан на рисунке 23.



S.1503-23

Данная геометрия означает, что любая ЗС НГСО на экваторе всегда находится на одной линии с какой-либо точкой дуги ГСО и, следовательно, будет использовать крайне низкую мощность или будет принудительно неактивной с помощью угла α зоны исключения. По мере увеличения широты ЗС НГСО также увеличивается угол к дуге ГСО, что обеспечивает более высокие уровни э.и.и.м.

Таким образом, э.п.п.м. на спутнике ГСО будет определяться как:

$$EPFD = EIRP(\theta) - 10\log_{10}(4\pi D^2),$$

где θ – внеосевой угол на ЗС НГСО по направлению к спутнику ГСО.

Используемый подход зависит от того, являются ли все маски э.и.и.м. монотонно уменьшающимися по мере изменения внеосевого угла. Если это так, тогда можно рассматривать только ситуацию для каждого края маски; в противном случае необходимо выполнить поиск по широте.

3.2.3.3.2 Монотонно уменьшающиеся маски э.и.и.м.

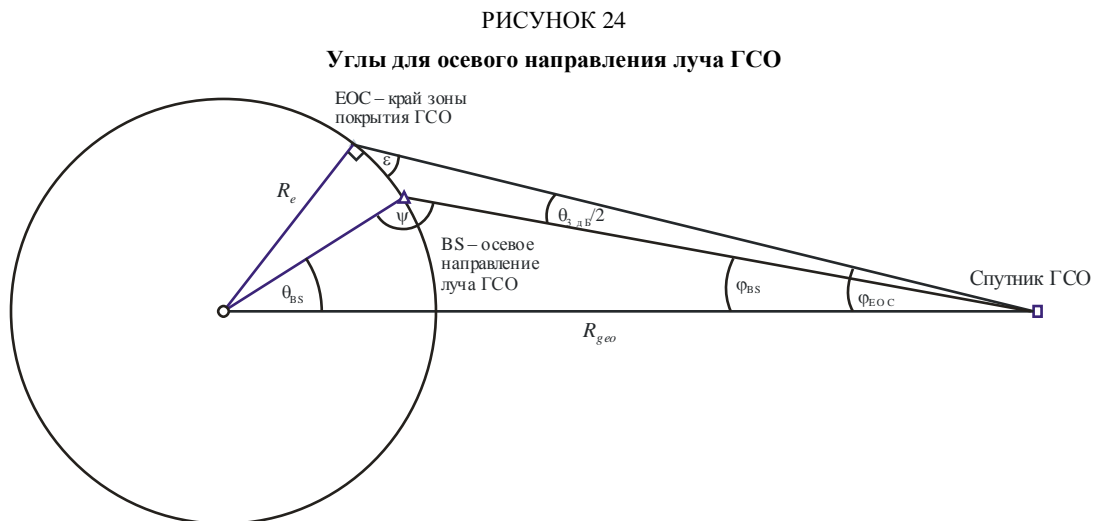
Если все маски э.и.и.м. являются монотонно уменьшающимися с внеосевым углом, тогда необходимо проверить начало и конец диапазона широт, для которых маска действительна.

Из уравнений раздела, описывающего общий случай:

$$\sin(\pi - \psi_{BS}) = \frac{R_{geo}}{R_e} \sin(\varphi_{BS});$$

$$\theta_{BS} = \pi - \varphi_{BS} - \psi_{BS}.$$

Углы показаны на рисунке 24.



S.1503-24

Тогда по широте ЗС НГСО можно определить дельта-долготу между ней и спутником ГСО, используя следующую формулу:

$$\cos \theta_{BS} = \cos lat_{ES} \cos \Delta long_{ES}.$$

Таким образом,

$$\cos \Delta long_{ES} = \frac{\cos \theta_{BS}}{\cos lat_{ES}}.$$

Следовательно, все векторы позиции можно вычислить по формуле

$$\underline{r}_{ES} = R_e \begin{pmatrix} \cos lat_{ES} \cos \Delta long_{ES} \\ \cos lat_{ES} \sin \Delta long_{ES} \\ \sin lat_{ES} \end{pmatrix};$$

$$\underline{r}_{GSO} = R_{GSO} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Можно рассчитать азимут ЗС НГСО, видимой со спутника ГСО, используя следующую формулу:

$$D^2 = R_e^2 + R_{geo}^2 + 2R_e R_{geo} \cos \Delta long_{ES};$$

$$\sin Azimuth = \frac{R_e}{D} \sin \Delta long_{ES}.$$

Исходя из этого и учитывая, что спутник НГСО по определению находится на экваторе с нулевой широтой, можно вычислить дельта-долготу между спутником ГСО и точкой на орбите НГСО, сводящую к минимуму внеосевой угол на ЗС НГСО:

$$\sin(\pi - \psi_{NGSO}) = \frac{R_{geo}}{R_{NGSO}} \sin(Azimuth);$$

$$\Delta long_{NGSO} = \pi - Azimuth - \psi_{NGSO}.$$

При этом система представления угла будет такой же, как для приведенного выше расчета осевого направления ГСО.

Следовательно:

$$\underline{r}_{NGSO} = R_e \begin{pmatrix} \cos \Delta long_{NGSO} \\ \sin \Delta long_{NGSO} \\ \mathbf{0} \end{pmatrix}.$$

Тогда к ЗС НГСО будут относиться два вектора:

$$\underline{r}_1 = \underline{r}_{GSO} - \underline{r}_{ES};$$

$$\underline{r}_2 = \underline{r}_{NGSO} - \underline{r}_{ES}.$$

Следовательно, можно рассчитать внеосевой угол на ЗС НГСО как угол между этими двумя векторами, а расстояние до ГСО – как величину вектора \underline{r}_1 .

Угол, используемый при вычислении э.п.п.м., является максимальным значением из вышеуказанного угла и размера зоны исключения:

$$x = \max(\alpha_0, Angle(\underline{r}_1, \underline{r}_2)).$$

Таким образом, э.п.п.м. будет иметь следующий вид:

$$EPFD = EIRP(x) - 10 \log_{10}(4\pi r_1^2).$$

WCG – это положение ЗС, при котором э.п.п.м. единичной помехи имеет наибольшее значение.

Следовательно:

WCGA_Up_Equatorial_Masks:

Для всех масок э.и.и.м.

Вызвать WCGA_Up_Equatorial(max(-Lat_{max}, начальная широта маски))

Вызвать WCGA_Up_Equatorial(min(+Lat_{max}, конечная широта маски))

Следующая маска

3.2.3.3.3 Немонотонно уменьшающиеся маски э.и.и.м.

Если маска э.и.и.м. НГСО уменьшается немонотонно, необходимо проверить дополнительные широты. Диапазон широт определяется диапазоном видимости по широте для спутниковой группировки НГСО, который рассчитывается с помощью приведенных выше уравнений.

Для алгоритма требуется размер шага, который должен быть самым малым в маске э.и.и.м., но при этом не меньше 1°.

Предполагается, что маска э.и.и.м. симметрична по широте.

Тогда внешний контур будет иметь следующий вид:

WCGA_Up_Equatorial_all:

```
LatStepSize = min(1, StepSizeinEIRPMask)
Рассчитайте LatMax исходя из параметров орбиты НГСО
Для широты = 0 до LatMax
    Получить маску э.и.и.м. для этой широты
    WCGA_Up_Equatorial(latitude)
Следующая широта
```

Значение WCGA_Up_Equatorial(latitude) является таким же, как и для вышеуказанной ситуации с монотонно возрастающими масками э.и.и.м., а именно:

WCGA_Up_Equatorial(latitude):

```
Рассчитайте  $\varphi_{BS}$  спутника ГСО
Рассчитайте  $\Delta\text{longitude}$  для этой широты
Рассчитайте векторы ЗС и спутника ГСО
Рассчитайте долготу спутника НГСО
Рассчитайте вектор спутника НГСО
Рассчитайте внеосевой угол на ЗС
Рассчитайте э.п.п.м.
Если данная э.п.п.м. является наивысшей, сохраните полученное значение
```

3.2.3.4 Определенные местоположения ЗС

В некоторых сетях НГСО предлагается использовать только определенный набор местоположений ЗС и не предполагается общего широкого развертывания для существующего алгоритма WCGA (вверх). Используемый алгоритм зависит от того, повторяется ли траектория движения группировки или нет. Если группировка повторяет траекторию своего движения, тогда геометрические изменения будут значительно сокращены.

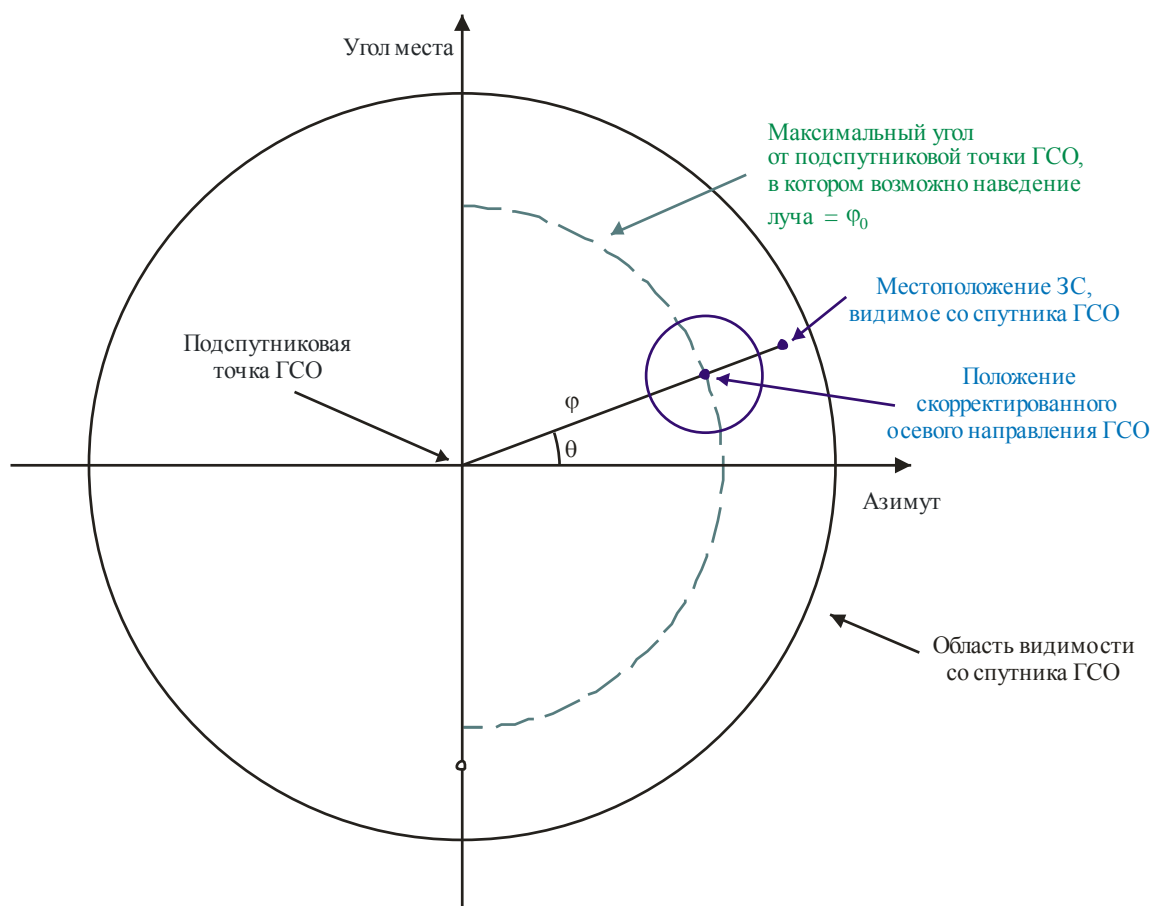
3.2.3.4.1 Повторяющаяся орбита конкретной ЗС

Если предусмотрены конкретные местоположения ЗС, а спутниковая сеть НГСО использует повторяющуюся трассу орбиты, тогда количество возможных геометрических построений будет сильно ограничено. Таким образом, возможен пролет спутника в течение периода повторения; и в этом случае для каждой ЗС и каждого спутника НГСО вычисляется угол α . Если $\alpha \leq \alpha_0$ или угол места меньше минимального значения, тогда ЗС не будет осуществлять передачу, в противном случае можно определить э.п.п.м. для этого местоположения.

В некоторых случаях ЗС будет находиться очень близко к краю Земли, видимому со спутника ГСО. Однако предполагается, что существуют ограничения для наведения луча спутника ГСО. Поэтому необходимо скорректировать осевое направление таким образом, чтобы оно было как можно ближе к ЗС НГСО, используя геометрию на рисунке 25.

РИСУНОК 25

Корректировка осевого направления луча ГСО в рамках геометрии WCG (вверх)



S.1503-25

Входными данными являются местоположение ЗС НГСО (широта, долгота) и долгота на дуге ГСО, соответствующая углу α по направлению к спутнику НГСО.

Далее:

Рассчитайте два вектора позиций, приведенные в уравнениях выше.

Рассчитайте (азимут, угол места) ЗС, видимой с ГСО.

Рассчитайте (θ, φ) ЗС, видимой с ГСО.

Определите точку корректировки (θ, φ_0) осевого направления.

Рассчитайте $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0$.

Рассчитайте (азимут, угол места) осевого направления.

Постройте линию от спутника ГСО в этом направлении.

Рассчитайте точку пересечения = положению осевого направления (BS).

Таким образом, алгоритм будет иметь следующий вид:

WCGA_UP_SpecificES_Repeating:

 Задайте WorstEPFDBin = -999

 Для каждой ЗС

 Получите маску э.и.и.м. для этой ЗС

 Получите ширину главного лепестка для этой маски э.и.и.м.

 По ширине главного лепестка рассчитайте временной шаг = t_{step}

 Получите t_{repeat} = период повторения движения группировки

 Для $t = 0$ до t_{repeat} с размером шага t_{step}

 Обновите вектор позиции этой ЗС

 Для всех спутников НГСО

 Обновите вектор позиции этого спутника

 Если данный спутник находится в зоне видимости ЗС

 Рассчитайте α для этого спутника и ЗС

 Рассчитайте угол места ε для этого спутника

 Если $\alpha > \alpha_0$ и $\varepsilon > \varepsilon_0$, то

 Рассчитайте d = расстояние от ЗС до точки α
 на дуге ГСО

 Рассчитайте положение осевого направления ГСО и $\Delta\varphi$

 Рассчитайте $EPFD = EIRP(\alpha) + G_{rel}(\Delta\varphi) - 10\log_{10}(4\pi d^2)$

 Если $EPFD > WorstEPFD$, то

$WorstEPFD = EPFD$

 Сохраните эту геометрию ГСО (долгота, осевое направление)

 Endif

 Endif

 Endif

 Следующий спутник

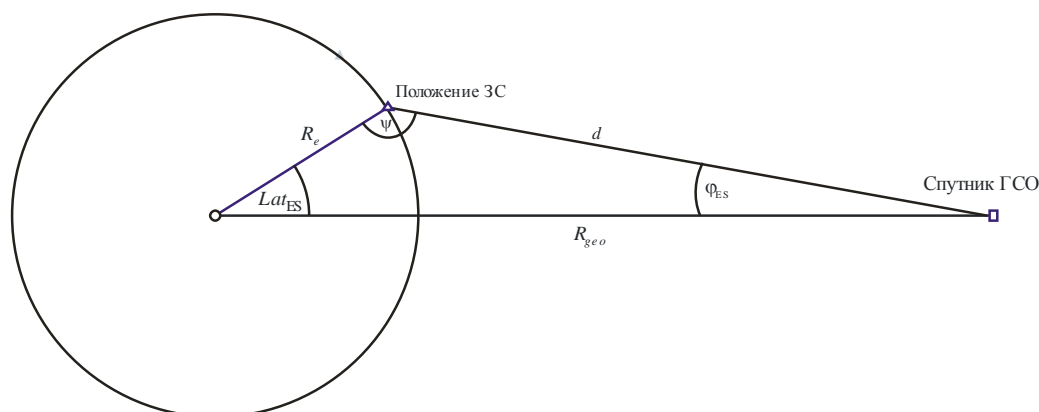
 Следующий временной шаг

Следующая ЗС

3.2.3.4.2 Неповторяющаяся орбита конкретной ЗС

Если имеются конкретная ЗС и перемещающаяся группировка НГСО, то с течением времени встретятся возможные конфигурации, и в конечном счете возникнет такой случай, когда спутник НГСО и ЗС будут иметь одинаковую долготу, при этом спутник НГСО будет находиться на краю зоны исключения, как показано на рисунке 26.

РИСУНОК 26
Расстояние от ЗС НГСО до спутника ГСО



S.1503-26

Для расчета расстояния можно использовать следующую формулу:

$$d^2 = R_e^2 + R_{geo}^2 - 2R_e R_{geo} \cos lat_{ES}.$$

ЗС может находиться выше максимально возможного положения осевого направления для спутника ГСО. Это можно проверить путем вычисления φ по формуле

$$\sin \varphi_{ES} = \frac{R_e}{d} \sin lat_{ES}.$$

Если $\varphi_{ES} > \varphi_0$, тогда $\Delta\varphi = \varphi_{ES} - \varphi_0$, иначе $\Delta\varphi = 0$.

В таком случае:

$$EPFD = EIRP(\alpha_0) + G_{rel}(\Delta\varphi) - 10\log_{10}(4\pi d^2).$$

Таким образом можно выполнить итерацию для всех ЗС НГСО и для каждой широты и маски э.и.и.м. получить э.п.п.м. единичной помехи. Затем можно выбрать ЗС с наибольшей э.п.п.м. единичной помехи.

В этом случае спутник ГСО будет на той же долготе, что и ЗС, и с осевым направлением на минимальную широту ЗС и уровнем э.п.п.м., рассчитанным по углу места и ширине главного лепестка.

3.2.3.5 Общий случай

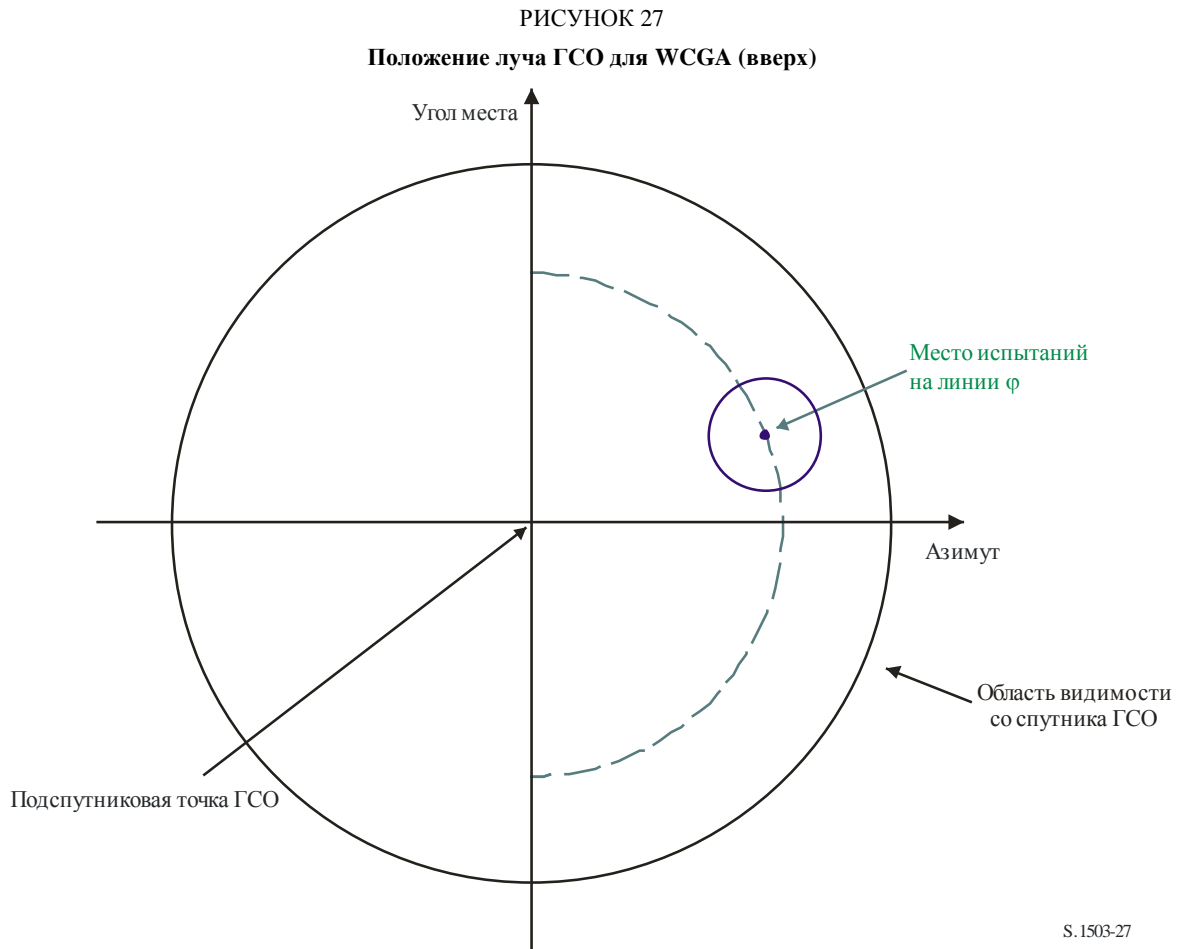
Этот случай рассматривается, когда маска э.и.и.м. зависит от широты, а спутниковая система НГСО обеспечивает глобальное покрытие для ЗС, заданное по плотности, а не по конкретным местоположениям.

При этом спутник НГСО обеспечивает покрытие всех положений в небе, видимых ЗС НГСО, поэтому уровень э.п.п.м. будет иметь следующий вид:

$$EPFD = EIRP(\alpha_0) + 10\log_{10}(4\pi d^2).$$

Следует отметить, что для получения уровней э.п.п.м. в тех же единицах, которые приведены в РР, расстояние необходимо указывать в метрах, а не в километрах.

Этот уровень э.п.п.м. будет уменьшаться по мере возрастания потерь на трассе при приближении к краю зоны покрытия. Однако гораздо большее значение имеет эффект агрегирования, связанный с увеличением зоны при направлении луча в сторону от подспутниковой точки. Таким образом, наихудший случай будет наблюдаться при указанном ранее предельном значении.



Поэтому если маска э.и.и.м. зависит от широты, WCGA должна искать среди масок э.и.и.м., чтобы определить ту, которая имеет самый большой уровень э.и.и.м. (α_0). Если имеется диапазон широт с одинаковыми значениями, то выбрать следует самую высокую широту.

Разность долгот можно рассчитать исходя из θ_{BS} и широты с помощью следующей формулы:

$$\cos \theta_{BS} = \cos lat_{BS} \cos \Delta long_{BS}.$$

Долготу ГСО выбирают таким образом, чтобы первый спутник группировки НГСО проходил через центр данного луча во время движения на своей первой орбите. Сначала необходимо определить два проверочных вектора позиции:

$$\underline{r}_{ES} = R_e \begin{pmatrix} \cos lat_{ES} \cos \Delta long_{ES} \\ \cos lat_{ES} \sin \Delta long_{ES} \\ \sin lat_{ES} \end{pmatrix};$$

$$\underline{r}_{GSO} = R_{GSO} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

После этого можно построить линию:

$$\underline{r} = \underline{p} + \lambda \underline{q},$$

где:

$$\underline{p} = \underline{r}_{GSO};$$

$$\underline{q} = \underline{r}_{ES} - \underline{r}_{GSO}.$$

При моделировании спутник НГСО должен находиться в какой-либо точке вдоль этой линии во время движения на своей первой орбите.

Круговые орбиты имеют постоянный радиус, и поэтому для расчета точки, в которой спутник НГСО пересекает эту линию, нужно найти первое положительное решение следующего квадратного уравнения для λ :

$$\lambda^2 q^2 + 2\lambda p \cdot q + (p^2 - r_{ngso}^2) = 0.$$

С помощью вектора позиции спутника НГСО можно вычислить его (широту, дельта-долготу).

Следует отметить, что в основе вышеприведенных расчетов используется эталонный спутник ГСО с нулевой долготой, и следовательно, полученное значение является не фактической долготой, а необходимой разностью долгот между спутником ГСО и спутником НГСО, когда он достигает требуемой широты.

Для определения момента, когда этот спутник достигает данной широты, используется следующая формула:

$$\sin(\omega + v) = \frac{\sin lat}{\sin i}.$$

По значению v можно определить фактическую долготу спутника НГСО, когда он достигает требуемой долготы. Для этого используют следующую формулу:

$$long_{GSO} = long_{NGSO} - \Delta longitude.$$

Для эллиптических систем может потребоваться итерация по значениям v . Ниже приводится один из способов.

SetSatelliteElliptical:

```

Задать LatIn1 = 0.00001
Задать LatIn2 = LatBS
LatOut1 = CalcLatOut(LatIn1)
LatOut2 = CalcLatOut(LatIn2)
Пока (abs(LatIn1 - LatIn2) > 1e-6)
  LatIn3 = (LatIn1 + LatIn2)/2
  LatOut3 = CalcLatOut(LatIn3)
  если (dLatIn3 > dLatOut3)
  {
    dLatIn2 = dLatIn3
    dLatOut2 = dLatOut3
  }
  Иначе
  {
    dLatIn1 = dLatIn3
    dLatOut1 = dLatOut3
  }
Конец

```

CalcLatOut(LatIn):

```

Исходя из LatIn рассчитайте НГСО (w + v) и следовательно v
Таким образом, рассчитайте r_ngso = p/(1 + e*cos(nu))
Найдите линию для точки P, в которой r = r_non
Рассчитайте широту точки P
Возврат рассчитанной широты

```

Следовательно:

WCGA_UP_General:

```

Задайте WorstEIRP = -999
Задайте MaxLat = 0
Рассчитайте  $\phi_0$ 
Для каждой маски э.и.и.м.

```

```

Рассчитайте ThisEIRP = max(EIRP( $\theta > \alpha_0$ ), EIRP( $\alpha_0$ ))
Если ThisEIRP > WorstEIRP
    Задайте MaxLat = наибольшая абсолютная широта для данной маски
    WorstEIRP = ThisEIRP
Endif

```

Следующая маска

```

Исходя из MaxLat и  $\phi_0$  рассчитайте  $\Delta$ longitude
Рассчитайте, когда первый спутник НГСО будет находиться на линии
Следовательно, задайте WCG

```

3.3 WCG для э.п.п.м. IS

3.3.1 Входные данные

Входные данные для алгоритма:

- SS_eirp : маска э.и.и.м. спутника для проверки;
- θ_{adv} : ширина луча ГСО спутника по половинной мощности;
- ϵ : минимальный угол места системы ГСО;
- $a, i, e, \Omega, \omega, v$: параметры наклона орбиты системы НГСО.

3.3.2 Алгоритм

WCGA_IS:

```

Исходя из предельных значений э.п.п.м. получите диаграмму усиления
для использования
Исходя из предельных значений э.п.п.м. получите ширину главного лепестка  $\theta_{adv}$ 
ГСО
Исходя из  $\theta_{adv}$  рассчитайте  $\phi_1, \phi_2$ 
С помощью диаграммы усиления рассчитайте  $G_{rel}(\phi_i)$  для  $i = 1, 2$ 
Исходя из  $\phi_1$  рассчитайте  $Lat_{BS}$ 
Если для всех спутников  $i = 0$ , то
{
    Геометрия наихудшего случая:
    BS.Latitude = 0
    BS.Longitude =  $Lat_{BS}$ 
    GSO.Longitude = 0
}
Иначе
{
    Задайте WorstEPFDBin = -9999
    Задайте WorstAngularVelocity = +9999
    Для всех спутников в порядке, указанном в базе данных МСЭ
    {
        Определите маску э.и.и.м. для использования с этим спутником
        Если эта маска э.и.и.м. не была до сих пор проверена, тогда
        Вызвать GetWCGA_IS(EIRP_mask, i)
    }
}
Endif
Следующий спутник
Поверните ГСО и осевое направление по долготе, чтобы обеспечить
событие их появления на линии

```

```

GetWCGA_IS(EIRP_Mask, i):
  LatStep = i / RoundUp(i)
  Для lat = -i до +i в шагах LatStep
  {
    Установите спутник по широте, чтобы рассчитать  $\underline{r}$ ,  $\underline{v}$ 
    Если спутник находится выше минимальной рабочей высоты
    {
      Исходя из  $r$ ,  $\varphi_i$  рассчитайте  $\psi_i$ 
      Исходя из  $\varphi_i$ ,  $\psi_i$  рассчитайте  $D_i$ ,  $\theta_i$ 
      Попробуйте рассчитать  $\Delta long_i$ 
      В случаях когда геометрии возможны
      {
        Исходя из диаграммы усиления ГСО рассчитайте  $G_{rel}(\varphi_i)$ 
        Исходя из маски э.и.и.м. рассчитайте э.и.и.м. ( $\psi_i$ )
        Рассчитайте э.п.п.м. $_i$ 
        Рассчитайте  $\underline{r}_{gso}$ ,  $\underline{v}_{gso}$ 
        Рассчитайте  $\theta$  спутника НГСО, видимого с ГСО
        Если э.п.п.м. $_i$  больше WorstEPFD
        {
          Сохраните эту геометрию
          WorstAngularVelocity =  $\theta$ 
          WorstEPFD =  $EPFD_i$ 
        }
        Иначе, если э.п.п.м. $_i$  имеет тот же бин, что и WorstEPFD
        {
          Если  $\theta$  меньше WorstAngularVelocity
          {
            Сохраните эту геометрию
            WorstAngularVelocity =  $\theta$ 
          }
        }
      }
    }
  }

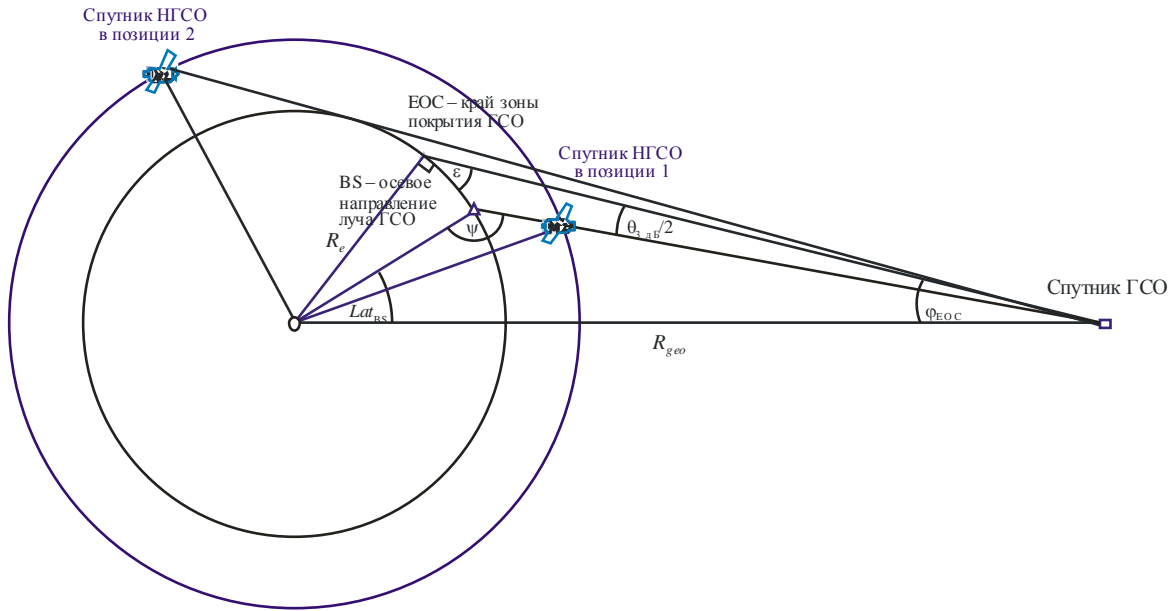
```

3.3.3 Геометрия

Существуют две потенциально значимые геометрии – когда спутник НГСО только входит в зону видимости спутника ГСО и когда он пересекает луч спутника ГСО, как показано ниже.

РИСУНОК 28

Позиции спутника НГСО для двух геометрий WCG (IS)



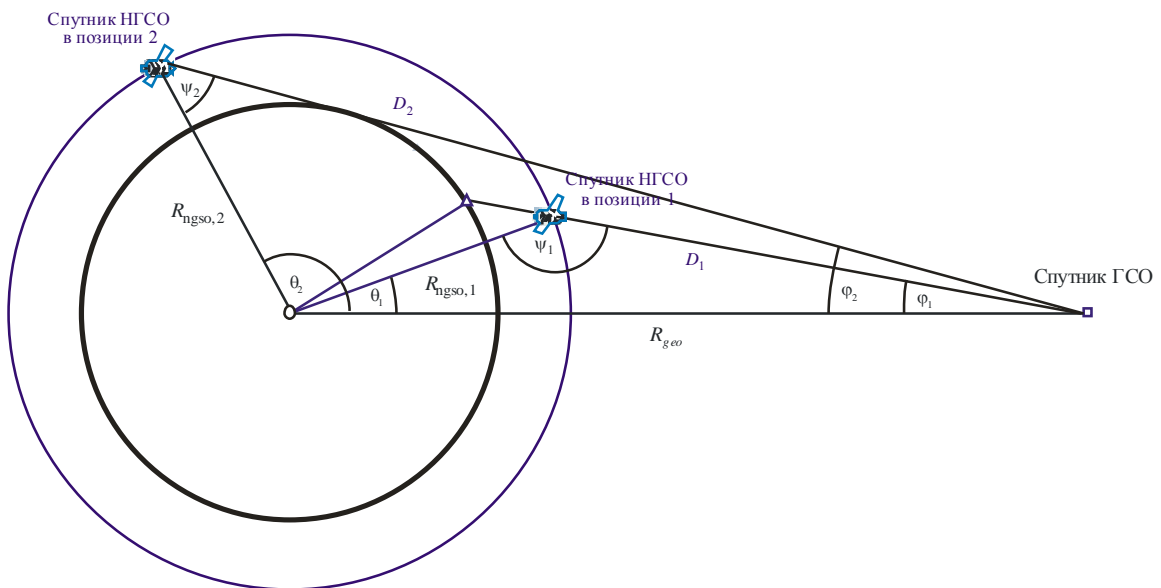
S.1503-28

В некоторых случаях обе геометрии будут иметь одинаковое положение WCG, например, для экваториальной спутниковой системы экстремум луча по азимуту совпадает для обеих геометрий.

Исходя из радиуса спутника НГСО в каждом положении можно вычислить внеосевой угол на спутнике, а значит, и э.и.м. (θ) вместе с расстоянием.

РИСУНОК 29

Вычисление спутникового внеосевого угла для двух геометрий WCG (IS)



S.1503-29

где:

$$\phi_1 = \phi_{BS} \text{ (исходя из вышеуказанного);}$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{R_e}{R_{gso}}$$

Следовательно:

$$\sin \psi_i = \frac{R_{geo}}{R_{ngso, i}} \sin \varphi_i,$$

где $i = \{1, 2\}$, при этом $\psi_1 > \frac{\pi}{2}$ и $\psi_2 < \frac{\pi}{2}$.

Тогда:

$$\theta_i = \pi - \varphi_i - \psi_i;$$

$$D_i = R_{ngso, i} \frac{\sin \theta_i}{\sin \varphi_i}.$$

Поэтому если взять спутник НГСО с радиусом $R_{ngso, i}$ для двух указанных геометрий, можно рассчитать два уровня э.п.п.м. единичных помех по следующей формуле:

$$EPFD_i = EIRP(\psi_i) + G_{rel, i} - 10 \log_{10}(4\pi D_i^2).$$

Следует отметить, что $G_{rel, 1} = 0$, а $G_{rel, 2} = G_{rel}(\varphi_2 - \varphi_1)$.

Установив спутник НГСО на заданной широте, можно вычислить уровень э.п.п.м. единичной помехи по радиусу-вектору и двум определенным выше геометриям.

В некоторых случаях отсутствует геометрия помеховой ситуации "в одну линию", например, для эллиптических систем в апогее линия от спутника НГСО к дуге ГСО не имеет точек пересечения с Землей. Для проверки можно рассчитать разность долгот между спутником НГСО и точкой дуги ГСО по описанной выше геометрии и широту спутника НГСО по следующей формуле:

$$\cos \Delta long_i = \frac{\cos \theta_i}{\cos lat_i}.$$

Если данное уравнение не имеет решения, значит нет такой позиции, которая соответствовала бы требуемой геометрии. Другие позиции можно исключить, если спутник НГСО находился ниже минимальной рабочей высоты.

При наличии нескольких местоположений с одинаковым уровнем э.п.п.м. единичной помехи необходимо использовать местоположение с наименьшей угловой скоростью, применив тот же метод, что и для WCGA (вниз). Следует отметить, что вектор скорости спутника ГСО можно получить таким же образом, как для земных станций, то есть

$$\underline{v}_{gso} = w_e \begin{pmatrix} -y \\ x \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Позиция спутника ГСО выбирается таким образом, чтобы один из спутников НГСО с определенной маской э.и.и.м. пересекал область критической геометрии во время прохождения своей первой орбиты; при этом используется такая же методика, как для WCGA (вверх).

Дополнительная геометрия WCG для э.п.п.м. (IS) описывается выше, в пп. С.3.1.3 и С.3.2.3.

4 Расчет размера и количества временных шагов

4.1 Приращение времени и точность моделирования

Приращение времени при моделировании является одним из важнейших параметров для определения функции распределения помех от сетей НГСО на основе системы моделирования. Точно установленное значение этого приращения должно гарантировать отсутствие случаев, когда кратковременные помехи высокого уровня, превышающие приемлемый уровень, пропускаются и не рассматриваются. Иначе результаты анализа моделирования будут неточными, а иногда и ошибочными. Уменьшение величины приращения времени при моделировании позволит увеличить точность полученных результатов, но в то же время приводит к возрастанию общего количества таких приращений и объема требуемых расчетов.

Ниже приводится описание алгоритмов расчета для приращений времени при моделировании линии вверх и линии вниз.

4.2 Описание процедуры для определения минимального приращения времени при моделировании линии вниз

Значение приращения времени при моделировании должно гарантировать сбор данных и описание большинства сценариев воздействия кратковременных помех с необходимой точностью. Кратковременные помехи высокого уровня создаются излучением космической станции НГСО, что представляет собой ситуацию расположения антенных диаграмм на одной линии (спутник НГСО проходит через главный луч антенны земной станции ГСО). Поэтому метод определения приращения времени при моделировании Δt_{ref} основывается на обеспечении необходимого количества N_{hit} оценок п.п.м.↓ в течение временного интервала Δt , когда спутник НГСО проходит через главный луч антенны земной станции ГСО:

$$\Delta t_{ref} = \frac{\Delta t}{N_{hit}}. \quad (1)$$

Время, необходимое для прохождения спутника НГСО через главный луч антенны земной станции ГСО, зависит от взаимного расположения земной и космической станций сети ГСО, а также от орбитальных параметров сети НГСО. Значение Δt должно рассчитываться в том месте, где время прохождения спутника НГСО через главный луч антенны земной станции ГСО является наименьшим. Поскольку это наблюдается в случаях, когда земная станция ГСО расположена непосредственно под космической станцией ГСО, время прохождения Δt может определяться с помощью уравнений (2) и (3) (см. рисунок 30):

$$\Delta t = \frac{2\varphi}{\omega}, \quad (2)$$

где:

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{1}{2}\theta_{3 \text{ дБ}} - \arcsin \left[\frac{R_e}{R_e+h} \sin \left(\frac{1}{2}\theta_{3 \text{ дБ}} \right) \right]; \\ \omega &= \sqrt{(\omega_s \cos(i) - \omega_e)^2 + (\omega_s \sin(i))^2}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\omega_s = \frac{0,071}{[(R_e + h)/R_e]^{1,5}};$$

ω_s : угловая скорость вращения спутника НГСО вокруг Земли на минимальной рабочей высоте (градусы/с); для случая с несколькими орбитами должно быть выбрано наибольшее из этих значений ω_s ;

ω_e : угловая скорость вращения Земли на экваторе (градусы/с);

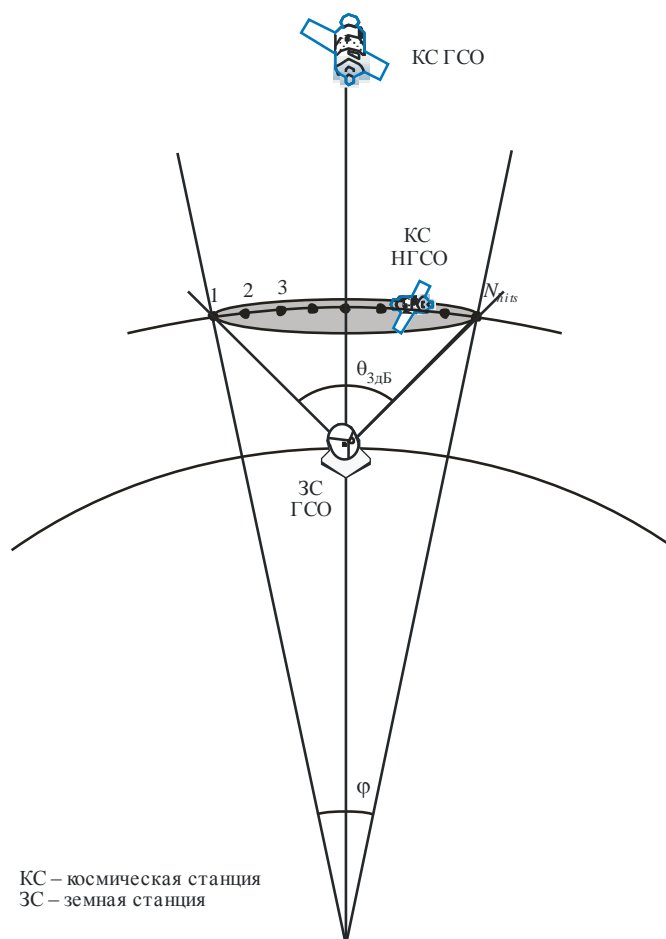
i : наклонение орбиты (градусы);

- $\theta_{3\text{ дБ}}$: ширина главного лепестка антенны земной станции ГСО на уровне 3 дБ (градусы);
- R_e : радиус Земли (км);
- h : высота орбиты (км) (см. примечание 1).

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В случае когда в группировке имеется несколько значений h для различных подгруппировок или плоскостей, должно использоваться наименьшее значение. В случае эллиптических орбит должна использоваться минимальная рабочая высота.

РИСУНОК 30

Вычисление размера временного шага э.п.м. (вниз)



S.1503-30

Величина N_{hit} определяет точность моделирования. Чем больше величина N_{hit} , тем выше точность окончательных результатов.

Для величины N_{hit} необходимо задать значение 16, как было определено в п. D.4.5. В случае когда спутниковая группировка сети НГСО состоит из спутников с различными параметрами орбиты, необходимо определить приращение времени при моделировании для каждого типа рассматриваемых орбит и выбрать минимальное приращение.

ТАБЛИЦА 9
Входные данные

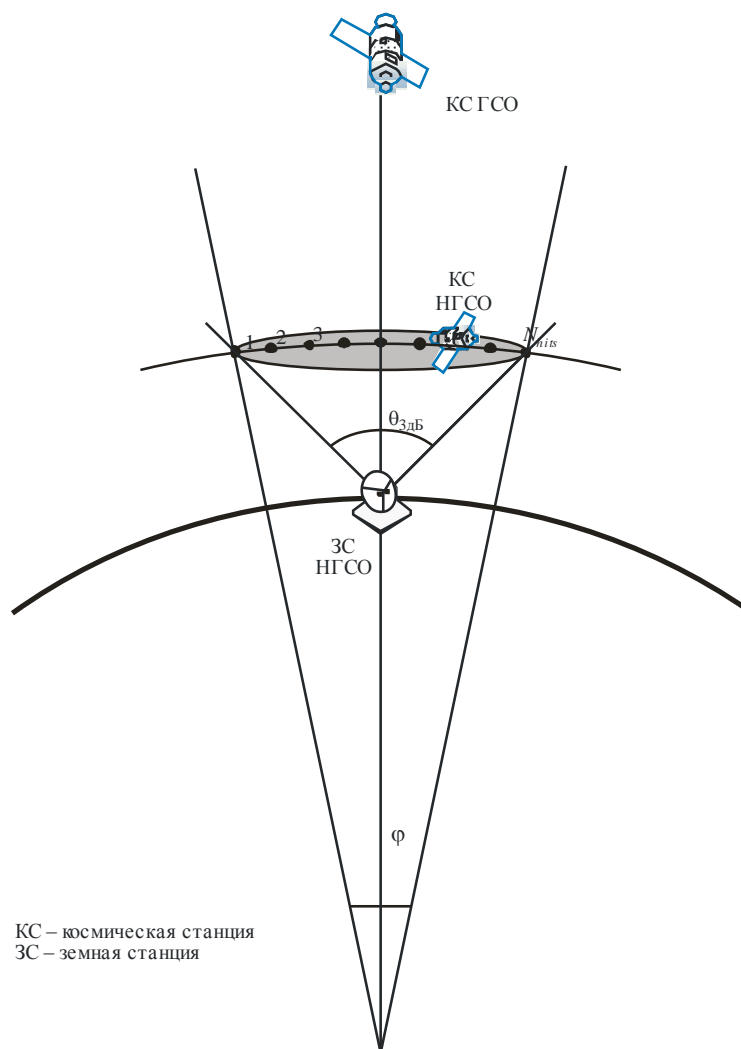
Параметр	Обозначение	Единицы измерения
Наклонение орбиты	i	градусы
Высота орбиты или для эллиптических орбит минимальная рабочая высота	h	км
Ширина луча антенны земной станции НГСО на уровне 3 дБ	$\varphi_{3 \text{ дБ}}$	градусы
Количество необходимых расчетов э.п.п.м.↓ в течение времени прохождения спутника ГСО через главный луч антенны земной станции НГСО	N_{hit}	–

4.3 Описание процедуры определения минимального приращения времени при моделировании линии вверх

Кратковременные помехи высокого уровня на линии вверх создаются излучениями от земной станции НГСО во время события появления помех "на одной линии" (когда спутниковая станция ГСО находится в главном луче антенны земной станции НГСО). Требуемое количество N_{hit} измерений э.п.п.м.↑ должно выполняться в период нахождения спутника ГСО в главном луче антенны земной станции НГСО для обеспечения сбора данных и определения события помех "на одной линии". Если бы земная станция НГСО находилась непосредственно под спутником ГСО (см. рисунок 31), тогда значение минимального приращения времени при моделировании можно было бы рассчитать с использованием уравнений (1) и (2). В этом случае следовало бы использовать ширину главного луча антенны земной станции НГСО вместо ширины главного луча антенны земной станции ГСО.

РИСУНОК 31

Вычисление размера временного шага э.п.п.м. (вверх)



S.1503-31

ТАБЛИЦА 10

Входные данные

Параметр	Обозначение	Единицы
Наклонение орбиты	i	градусы
Высота орбиты	h	км
Ширина главного лепестка антенны земной станции НГСО на уровне 3 дБ	$\varphi_{3\text{ дБ}}$	градусы
Количество необходимых расчетов э.п.п.м.↑ в течение времени прохождения спутника ГСО через главный луч антенны земной станции НГСО	N_{hit}	–

4.4 Описание процедуры определения минимального приращения времени при моделировании межспутниковой линии

Размер временного шага для расчетов э.п.м.т_{IS} определяется с учетом того, что должно быть по крайней мере N_{hit} временных шагов, в течение которых спутник НГСО находится в пределах главного луча антенны спутника ГСО. При условии, что наименьший размер временного шага соответствует случаю, когда луч на спутнике ГСО направлен как можно дальше от подспутниковой точки, и предполагая что:

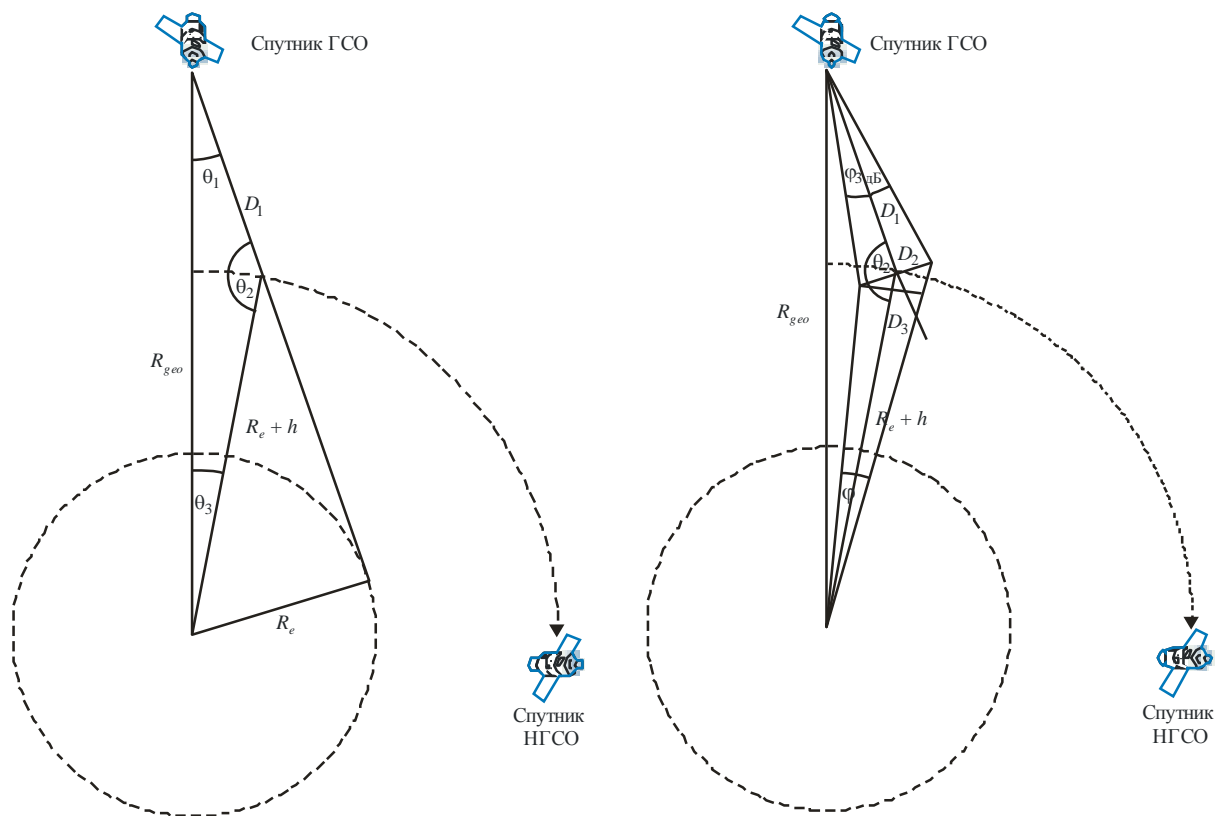
- R_e : радиус Земли;
- h : высота орбиты НГСО;
- R_{geo} : радиус геостационарной орбиты;
- $\theta_{3\text{ дБ}}$: ширина луча спутника ГСО по половинной мощности.

Для систем с вытянутой орбитой расчет высоты производится, когда спутник НГСО пересекает экватор, то есть когда $v = -\omega$.

Затем временной шаг можно рассчитать с использованием следующего алгоритма (см. рисунок 32).

РИСУНОК 32

Геометрические параметры, входящие в уравнения



S.1503-32

Вычислите:

$$\theta_1 = \arcsin \left(\frac{R_e}{R_{geo}} \right);$$

$$\theta_2 = 180 - \arcsin \left(\sin(\theta_1) \frac{R_{geo}}{R_e + h} \right);$$

$$\theta_3 = 180 - (\theta_1 + \theta_2);$$

$$D_1 = (R_e + h) \frac{\sin \theta_3}{\sin \theta_1};$$

$$D_2 = 2D_1 \sin\left(\frac{\theta_{3 \text{ дБ}}}{2}\right);$$

$$D_3 = D_2 \cos(180 - \theta_2).$$

Затем вычислите значение:

$$\varphi = 2 \arctan \left[\frac{D_3/2}{(R_e + h) - (D_2/2) \sin(180 - \theta_2)} \right]. \quad (4)$$

Это значение может использоваться в уравнении (2) для расчета применяемого размера временного шага.

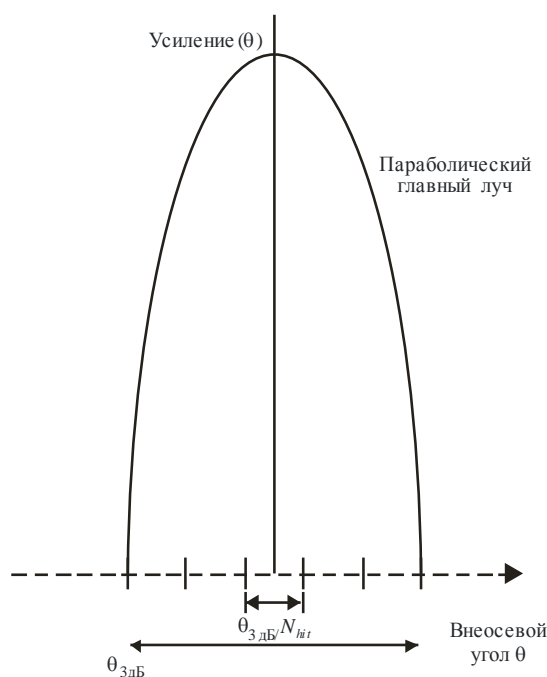
4.5 Определение величины N_{hit}

Размер временного шага подбирается таким образом, чтобы обеспечить достаточную разрешающую способность для э.п.п.м. в пределах главного луча станции, испытывающей помехи. Необходимое разрешение обеспечивает бин с размером 0,1 дБ, исходя из чего можно определить количество шагов в пределах главного луча.

Необходимо подобрать величину N_{hit} таким образом, чтобы можно было обнаружить максимальный уровень э.п.п.м. при моделировании и чтобы он находился в пределах правильного бина. Следовательно, расчеты должны выполняться с разрешением $(0,1 \text{ дБ})/2 = 0,05 \text{ дБ}$.

Наибольшая погрешность возникает, когда два временных шага расположены на равном расстоянии по обе стороны от главного луча, как показано на рисунке 33.

РИСУНОК 33
Вычисление N_{hit}



Шаг дискретизации имеет следующий вид:

$$\Delta\theta = \frac{\theta_{3\text{дБ}}}{N_{hit}}$$

Диаграмму усиления в пределах главного луча можно считать параболической, следовательно:

$$G_{rel} = 12 \left(\frac{\theta}{\theta_{3\text{дБ}}} \right)^2.$$

Наклон кривой составляет:

$$\frac{dG_{rel}}{d\theta} = \frac{24}{\theta_{3\text{дБ}}^2} \theta.$$

Отсюда можно получить величину N_{hit} , необходимую для разности в 0,05 дБ усиления, по формуле:

$$\Delta G_{rel} = 0,05 = 24 \cdot \frac{\theta}{\theta_{3\text{дБ}}} \cdot \frac{\Delta\theta}{\theta_{3\text{дБ}}} = 24 \cdot \frac{\theta}{\theta_{3\text{дБ}}} \cdot \frac{1}{N_{hit}}.$$

Следовательно:

$$N_{hit} = 480 \cdot \frac{\theta}{\theta_{3\text{дБ}}}.$$

Поэтому размер временного шага, ближайший к главному лучу, вычисляется как:

$$\theta = \frac{1}{2} \frac{\theta_{3\text{дБ}}}{N_{hit}}.$$

Тогда:

$$N_{hit} = \text{округление в бóльшую сторону} [\sqrt{240}] = 16.$$

Этот подход может также использоваться для выборки в поперечном направлении, тогда $N_{track} = N_{hit} = 16$.

4.6 Общее время выполнения программы моделирования

В этом разделе описывается расчет количества временных шагов для алгоритмов э.п.м.↓ и э.п.м.↑, указанных в п. D.5. Основной подход предусматривает в первую очередь рассмотрение по отдельности группировок с повторяющимися и неповторяющимися трассами орбит, когда системы с использованием повторяющихся трасс орбит применяют функцию удержания станций на орбите, для того чтобы движение спутника соответствовало одному "следу" на Земле. Например, будут иметь место небольшие погрешности и возмущения при запуске, что приведет к смещению орбиты, если не будет оперативно использована система удержания станций на орбите для обеспечения повторений траектории. Поэтому администрации должны указывать БР, используется ли система удержания станций на орбите для сохранения одной и той же траектории.

Некоторые группировки имеют различные значения наклона, высоты или эксцентриситета между плоскостями. В этом случае предполагается, что для сохранения зоны покрытия группировка проектируется таким образом, чтобы разнос между плоскостями существенно не менялся. Для случая повторяющихся траекторий на земле это означает, что для группировки будет один период повторения. Для всех спутников в составе группировки данный период соответствует времени их возвращения в ту же позицию относительно Земли и друг друга в пределах ограничений системы удержания станции на орбите. Для случая неповторяющихся траекторий на земле будет иметь место один период для всех плоскостей орбиты при движении вокруг экватора.

Этот подход должен использоваться для группировок с круговыми и эллиптическими орбитами, имеющими ненулевое наклонение. Для группировок на экваториальной орбите, в которых все спутники находятся на одной высоте, достаточно выполнить прогон в течение одного периода повторения. Соответствующий расчет производится следующим образом:

$$T_{run} = \frac{2\pi}{w_s - w_e};$$

$$N_{steps} = \text{округление в меньшую сторону } \frac{T_{run}}{T_{step}},$$

где w_s и w_e – угловые скорости вращения спутника и Земли, как указано в п. D.2.

В таблице 11 приведены входные параметры для всех остальных типов группировок.

ТАБЛИЦА 11
Входные данные

Параметр	Обозначение	Единицы измерения
Повторение группировки, да/нет	Тип	–
Минимальное количество выборок, используемых для получения статистической значимости	$N_s = 10$	–

В обоих случаях временной шаг может быть вычислен с использованием описанного выше метода. Количество временных шагов должно равняться по крайней мере

$$N_{min} = N_s \times 100 / (100 - (\text{максимальный \% в таблицах Статьи 22 РР, меньший, чем 100\%)).$$

Так, например, для случая 99,999% количество шагов составит

$$N_{min} = 1\,000\,000.$$

4.6.1 Повторяющиеся орбиты

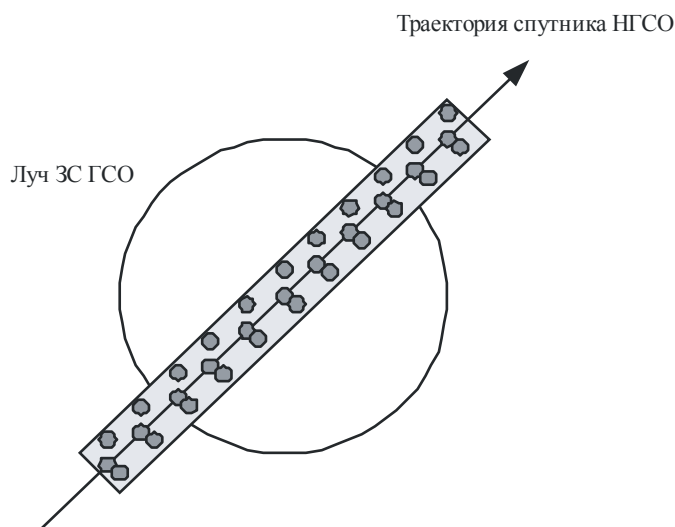
Для орбит, указываемых как повторяющиеся, расчетчик орбит должен быть точен в своих вычислениях для обеспечения повторяемости орбит. Таким образом, администрации могут указывать расчетчику орбит точечной массы точную скорость прецессии долготы, что обеспечивает повторяемость орбит. Определение и использование этого параметра рассматривается в п. D.6.3.

С использованием этого параметра моделируемая орбита будет повторяться, но в действительности будет иметь место незначительное смещение из-за долготных погрешностей системы удержания станции на орбите. Ожидается, что изменения в системе удержания станции в пределах орбитальной плоскости не будут оказывать никакого влияния и поэтому не учитываются.

Результат должен быть таким, как показано на рисунке 34.

РИСУНОК 34

Траектория повторяющейся орбиты спутника НГСО, проходящая через луч ЗС ГСО



S.1503-34

Из рисунка 34 можно видеть, что результатом будет серия выборок в пределах главного луча земной станции ГСО, которая достаточно детальна для анализа главного луча, учитывает смещение системы удержания станций на орбите и образует достаточное число выборок для создания необходимой статистики.

ТАБЛИЦА 12

Входные данные

Параметр	Обозначение	Единицы измерения
Период повторения группировки	P_{repeat}	с

Задаемся следующими параметрами:

- N_{min} : минимальное количество временных шагов, требуемое для обеспечения статистической значимости;
- P_{repeat} : временной период повторения группировки (с);
- T_{step} : временной шаг (с);
- N_{tracks} : количество траекторий, проходящих через главный луч, равное 16, как указано в п. D.4.5.

Для этого случая временной шаг не должен точно делить период повторения группировки. Если:

$$N_{repsteps} = P_{repeat}/T_{step}$$

является целым числом, то тогда вычислите пересмотренный временной шаг, равный:

$$T'_{step} = T_{step}(1 + N_{repsteps})/N_{repsteps}.$$

Рассчитайте период времени, требуемый для получения минимального количества временных шагов в целях обеспечения статистической значимости:

$$T_{sig} = N_{min} \cdot T_{step}.$$

Это соответствует следующему количеству повторений группировки:

$$N_{rep} = \text{округление } (T_{sig}/P_{repeat}) \text{ до ближайшего большего целого числа.}$$

Количество повторений группировки является наибольшим из чисел N_{rep} или N_{tracks} , то есть

$$N_{run} = \max(N_{rep}, N_{tracks}).$$

Тогда общее время выполнения программы составит:

$$T_{run} = N_{run} \cdot P_{repeat}.$$

Таким образом, количество временных шагов будет равно:

$$N_{steps} = \text{округление } (T_{run}/T_{step}) \text{ до ближайшего меньшего целого числа.}$$

4.6.2 Неповторяющиеся орбиты

В этом случае должен быть рассмотрен разнос по долготе между последовательными проходами восходящего узла, с тем чтобы имелось достаточное количество траекторий в пределах главного луча. Информация о размере временного шага и количестве временных шагов может использоваться для определения того, как долго отдельная орбита будет обрабатываться в рамках выполнения программы. Те же самые числа могут использоваться для определения требуемого количества временных шагов для смещения орбиты вокруг экватора. Период орбиты может затем использоваться для определения разности между траекториями.

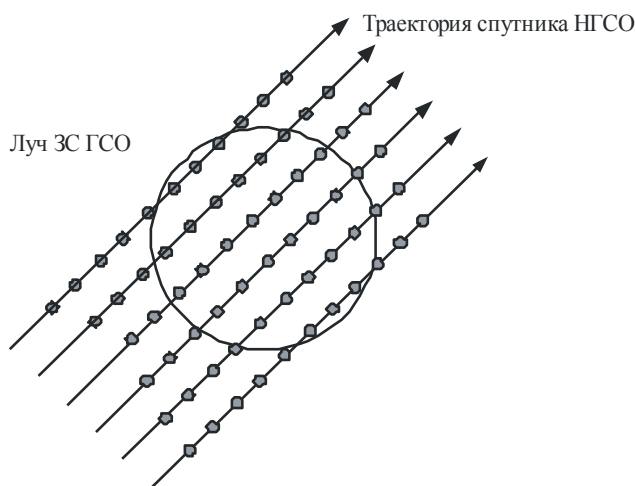
Константа, указывающая необходимое количество точек в пределах главного луча, может использоваться для установления количества траекторий через рассматриваемый главный луч (то есть $N_{track} = N_{hits}$). Если интервал между траекториями слишком велик или слишком точно определен (что является результатом либо недостаточного количества выборок, либо чрезмерно большого времени выполнения программы), то тогда можно использовать искусственно установленную прецессию.

Ожидается, что смещения системы удержания станций на орбите должны аннулироваться в долгосрочном плане и поэтому не потребуются для данных расчетов.

Результат должен быть таким, как показано на рисунке 35.

РИСУНОК 35

Траектория неповторяющейся орбиты спутника НГСО, проходящая через луч ЗС ГСО



S.1503-35

Из рисунка 35 можно видеть, что результатом будет серия траекторий в пределах главного луча земной станции ГСО, которая достаточно детально для анализа главного луча и образует достаточное количество выборок для создания необходимой статистики.

ТАБЛИЦА 13
Входные данные

Параметр	Обозначение	Единицы измерения
Наклонение орбиты	i	градусы
Главная полуось орбиты	a	км
Ширина луча антенны земной станции ГСО по уровню 3 дБ ⁽¹⁾	φ_3 дБ	градусы
Требуемое количество траекторий спутника НГСО, проходящих через главный луч земной станции ГСО	N_{tracks}	–

⁽¹⁾ В случае вычисления длины прогона для э.п.п.м.↓. В случае э.п.п.м._{IS} и э.п.п.м.↑:

э.п.п.м.↑ – рассчитайте значение φ , используя ширину главного лепестка земной станции НГСО, указанную в ее маске э.и.и.м., при вычислениях по уравнению (3);

э.п.п.м._{IS} – рассчитайте значение φ , используя ширину главного лепестка спутника ГСО при вычислениях по уравнению (4).

Необходимо определить два параметра:

S_{pass} : разнос по долготе между последовательными проходами восходящего узла через экваториальную плоскость;

S_{req} : требуемое определение количества проходов через экваториальную плоскость, основанное на размере луча ГСО земной станции.

Эти параметры вычисляются с использованием следующих шагов.

Шаг 1. С помощью уравнений из п. D.6.3.2 вычислите значения \bar{n} , Ω_r , ω_r .

Шаг 2. Преобразуйте \bar{n} , Ω_r , ω_r в градусы/мин.

Шаг 3. Рассчитайте нодальный период обращения орбиты в минусах по формуле

$$P_n = \frac{360}{\omega_r + \bar{n}}.$$

Шаг 4. Рассчитайте разнос по долготе между последовательными проходами восходящего узла через экваториальную плоскость S при скорости вращения Земли ($\Omega_e = 0,250684$ градуса/мин):

$$S_{pass} = (\Omega_e - \Omega_r) P_n \quad \text{градусов.}$$

Указанные выше уравнения применяются к круговым орбитам. Для систем с эллиптической орбитой, расчеты для которых существенно отличаются от вышеприведенных, значение S_{pass} должно предоставляться администрацией.

Шаг 5. Значение S_{req} может быть вычислено на основании ширины луча и высоты земной станции ГСО с использованием уравнения (3):

$$S_{req} = \frac{2\varphi}{N_{tracks}}.$$

Шаг 6. Рассчитайте количество орбит для полного заполнения пространства вокруг экватора, учитывая, что каждая плоскость имеет восходящий и нисходящий узлы:

$$N_{orbits} = \frac{180}{S_{req}}.$$

Шаг 7. Округлите число N_{orbits} до следующего большего целого числа.

Шаг 8. Рассчитайте общий угол кругового вращения по орбите в течение этого времени:

$$S_{total} = N_{orbits} \cdot S_{pass}.$$

Шаг 9. Рассчитайте число, кратное 360° , которому соответствует этот общий угол, округляя в большую сторону до ближайшего целого числа:

$$N_{360} = \text{int} \left(\frac{S_{total}}{360} \right).$$

Шаг 10. Рассчитайте разнос между плоскостями, которому соответствует полученное число:

$$S_{actual} = \frac{360N_{360}}{N_{orbits}}.$$

Шаг 11. Для обеспечения смещений орбиты с требуемой скоростью прецессии необходимо учесть следующую дополнительную искусственную прецессию:

$$S_{artificial} = S_{actual} - S_{pass} \quad \text{градусы/орбита}$$

или

$$D_{artificial} = \frac{S_{artificial}}{T_{period}} \quad \text{градусы/с.}$$

Шаг 12. В части D приведена дополнительная информация о том, каким образом используется этот параметр. Общее время прогона программы при этом соответствует времени прохождения вокруг экватора, а именно:

$$T_{run} = T_{period} \cdot N_{orbits}.$$

Шаг 13. В этом случае общее количество временных шагов составляет

$$N_{steps} = \text{округление} (T_{run} / T_{step}) \text{ до ближайшего меньшего целого числа.}$$

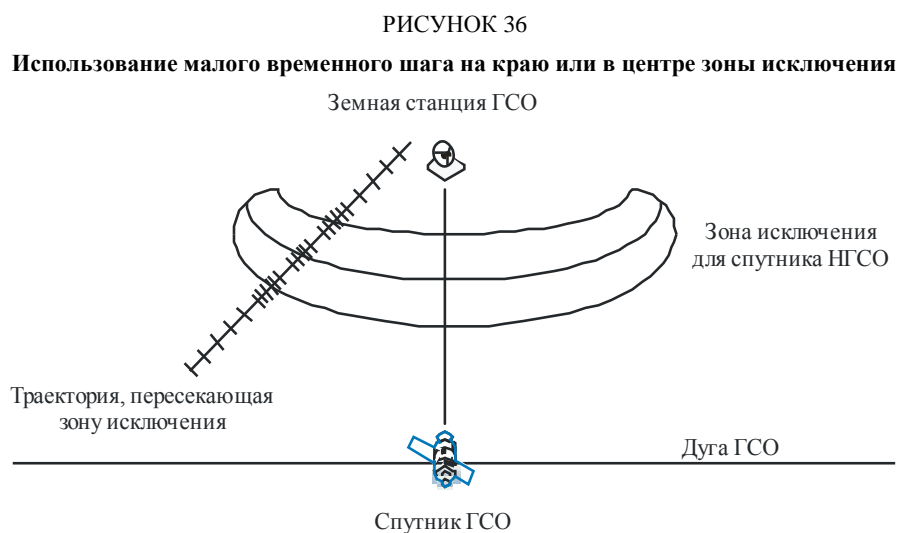
4.7 Вариант с двумя временными шагами

4.7.1 Вариант с двумя временными шагами для случая э.п.п.м. (вниз)

Для улучшения характеристик моделирования возможен вариант алгоритма, позволяющий реализовать два временных шага. Как правило, используется большой временной шаг, кроме случаев, когда расположение какого-либо из спутников НГСО близко к одному из двух условий:

- угол исключения α или $X = 0$;
- угол исключения α или $X = \text{краю зоны исключения}$.

На рисунке 36 показаны случаи использования малого временного шага.



Большой размер шага используется для некритических районов, удаленных от оси главного луча земной станции ГСО и границ зоны исключения. Этот размер шага определяется как топоцентрический угол:

$$\varphi_{coarse} = 1,5^\circ.$$

Этот большой размер шага используется для всех значений ширины луча антенны и всех систем НГСО.

В связи с наличием двух возможных мест на НГСО с максимальной э.п.п.м. существует два возможных района, где применяется малый временной шаг.

а) Когда спутник НГСО находится вблизи главного луча, район использования малого шага определяется как фиксированный топоцентрический угол от оси луча земной станции ГСО (X или $\alpha = 0$).

- Если $D/\lambda > 100$, установите край области первого бокового лепестка в значение φ_r диаграммы направленности земной станции ГСО:

$$\varphi_1 = \varphi_r = 15,85(D/\lambda)^{-0,6}.$$

- Если $D/\lambda < 100$, установите край области первого бокового лепестка в значение, определенное на диаграмме направленности земной станции ГСО:

$$\varphi_1 = 95 \lambda/D.$$

Внеосевой угол для района использования малого шага определяется как угол, превышающий $3,5^\circ$ или φ_1 :

$$\varphi_{FSR_1} = \max(3,5^\circ, \varphi_1).$$

б) Когда спутник НГСО находится вблизи зоны исключения, район использования малого шага, измеряемый от границы зоны исключения ($X = X_0$ или $\alpha = \alpha_0$), определяется как

$$\varphi_{FSR_2} = \varphi_{coarse}.$$

Необходимо, чтобы для статистических целей размер большого шага соответствовал целому кратному от размера малого шага. Поскольку размер большого шага является постоянной величиной, отношение размеров больших шагов к малым шагам определяется только шириной луча земной станции ГСО ($\varphi_{3\text{ дБ}}$). Это отношение определяется как

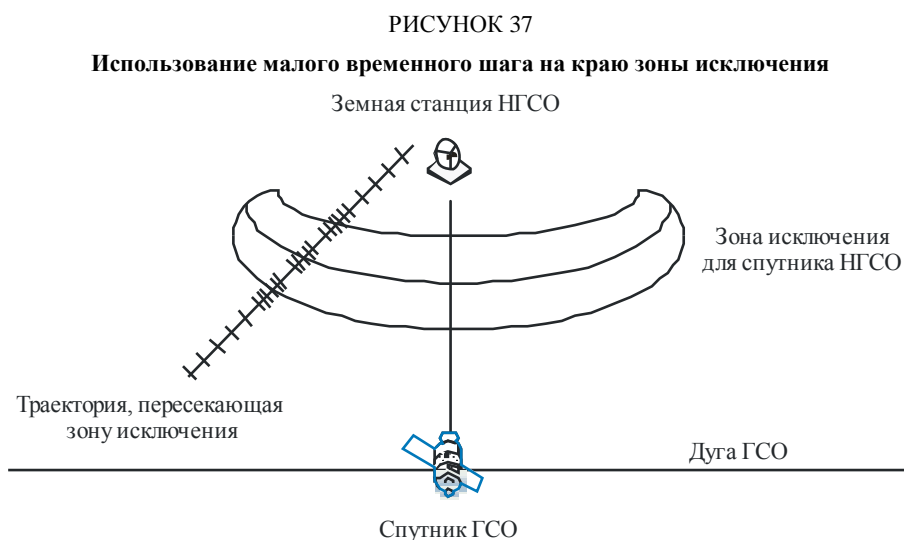
$$N_{coarse} = \text{минимальный уровень } ((N_{hits} * \varphi_{coarse})/\varphi_{3\text{ дБ}}),$$

где минимальный уровень – это функция, которая отсекает десятичную часть отношения и выделяет целую часть. В результате получается заниженное отношение размеров малых шагов к большим шагам, которое обеспечивает, чтобы большой шаг никогда не превышал заданного топоцентрического размера в $1,5^\circ$.

4.7.2 Вариант с двумя временными шагами для случая э.п.п.м. (вверх)

Для улучшения характеристик моделирования существует вариант алгоритма, позволяющий реализовать два временных шага. Как правило используется большой временной шаг, кроме случаев, когда расположение какого-либо из спутников НГСО близко к краю зоны исключения. Следует отметить, что нет необходимости проводить проверку для центральной линии, представляющей угол $\alpha = 0$, поскольку земная станция НГСО не ведет передачи на спутник НГСО в пределах зоны исключения.

На рисунке 37 показан случай использования малого временного шага.



S.1503-37

Большой размер шага используется для некритических районов, удаленных от оси главного луча земной станции ГСО и границ зоны исключения. Этот размер шага определяется как топоцентрический угол:

$$\varphi_{coarse} = 1,5^\circ.$$

Этот большой размер шага используется для всех значений ширины луча антенны и систем НГСО.

Необходимо, чтобы для статистических целей размер большого временного шага соответствовал целому кратному от размера малого шага. Поскольку размер большого шага является постоянной величиной, отношение размеров больших шагов к малым шагам определяется только шириной луча земной станции НГСО ($\varphi_{з\text{ дБ}}$). Это отношение определяется как

$$N_{coarse} = \text{минимальный уровень } ((N_{hits} * \varphi_{coarse}) / \varphi_{з\text{ дБ}}),$$

где минимальный уровень – это функция, которая отсекает десятичную часть отношения и выделяет целую часть. В результате получается заниженное отношение размеров малых шагов к большим шагам, которое обеспечивает, чтобы большой шаг никогда не превышал заданного топоцентрического размера в $1,5^\circ$.

5 Описание расчета э.п.п.м.

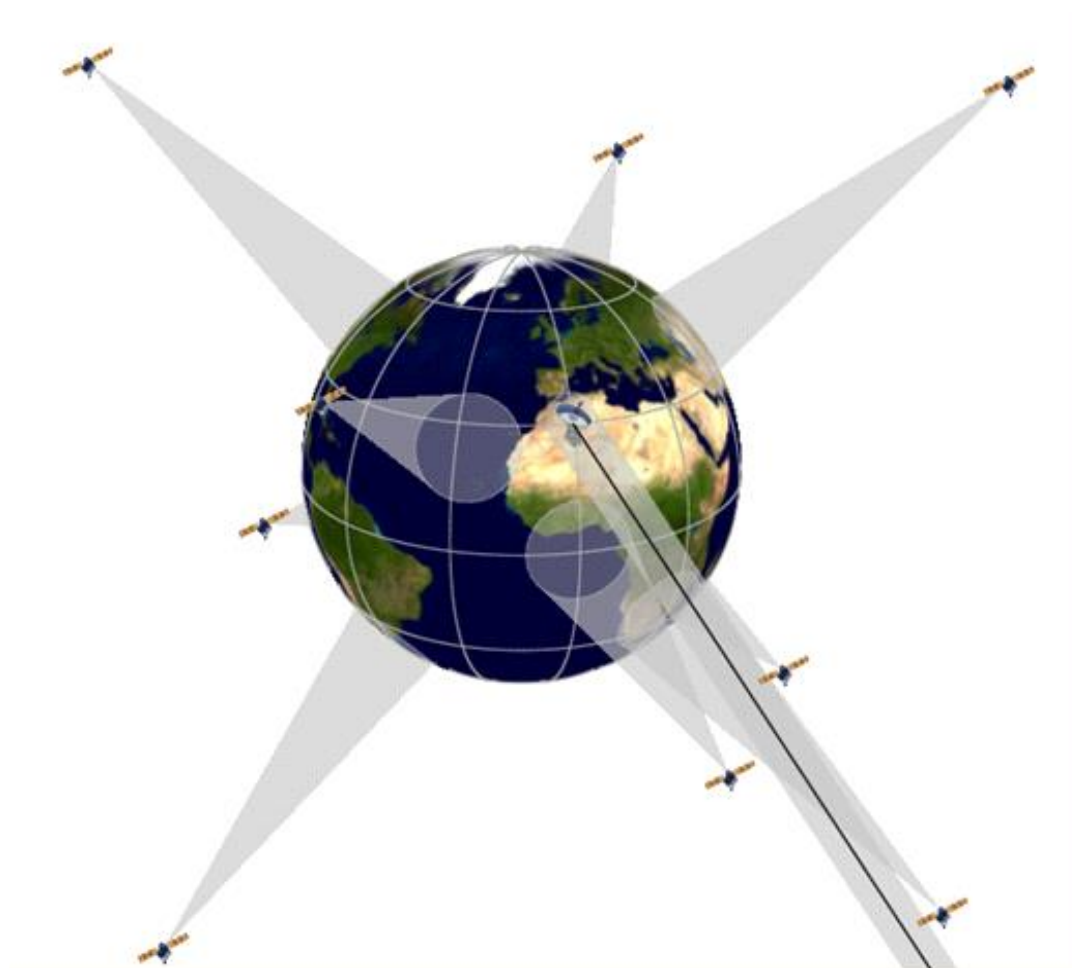
5.1 Описание программного обеспечения э.п.п.м.↓

В этом разделе описывается алгоритм для расчета уровней э.п.п.м.↓ от группировки НГСО, поступающих в линию вниз ГСО. Предполагается, что каждый спутник НГСО характеризуется маской п.п.м. Исходя из п.п.м. для каждого спутника вычисляется суммарная э.п.п.м.↓ на земной станции системы ГСО. Расчет повторяется для ряда временных шагов до тех пор, пока не будет получено распределение уровней э.п.п.м.↓. Это распределение можно затем сравнить с предельными уровнями для вынесения решения go/no go ("проверка пройдена/не пройдена").

На рисунке 38 показана геометрия с группировкой спутников НГСО и контрольным спутником ГСО, ведущих передачу на земную станцию ГСО.

РИСУНОК 38

Пример сценария э.п.п.м. (вниз)



S.1503-38

5.1.1 Параметры конфигурации

Таковыми параметрами по определению прогона являются:

Название параметра	Значение параметра	Единицы измерения и диапазоны параметра
Частота	F_DOWN	ГГц
Долгота спутника ГСО	GSO_LONG	градусы
Широта земной станции ГСО	GSO_ES_LAT	градусы
Долгота земной станции ГСО	GSO_ES_LONG	градусы
Размер зеркала земной станции ГСО	GSO_ES_D_ANT	м
Диаграмма усиления земной станции ГСО	GSO_ES_PATTERN	Одна из диаграмм в п. D.6.5
Эталонная ширина полосы	REFBW	кГц
Количество точек э.п.п.м.↓	Nepfd_DOWN	–
Массив уровней э.п.п.м.↓ Nepfd_DOWN	epfd_DOWN[I]	дБ(Вт/(м ² · BW _{ref}))
Массив процентов Nepfd_DOWN	PC[I]	%

5.1.2 Параметры системы НГСО

В соответствии с п. В.3.1 используются следующие параметры.

Описание параметра	Название параметра	Единицы измерения параметра
Маска п.п.м. спутника	Определение и формат см. в части С	
Количество спутников НГСО	N_{sat}	–
Центральная частота передачи ⁽¹⁾	F_DOWN_{sat}	ГГц
Параметр зоны исключения	Alpha или X	–
Угол зоны исключения	MIN_EXCLUDE	градусы
Максимальное количество спутников, работающих на f_{sat} , для различных широт	$N_{co}[Latitude]$	–
Орбита имеет повторяющуюся траекторию на Земле, обеспечиваемую функцией удержания станции на орбите	Да или нет	–
Администрация указывает конкретную скорость прецессии узла	Да или нет	–
Диапазон удержания станции на орбите для восходящего узла как половина общего диапазона	W_{delta}	градусы
Минимальная рабочая высота	H_MIN	км

Для каждого спутника будут использоваться следующие параметры, указанные в п. В.3.2 –параметры, предоставляемые администрацией системы НГСО, где определения параметров на момент начала моделирования указываются в п. D.6.3.1.

Следует отметить, что в приведенной ниже таблице индексы $[N]$ приводятся для того, чтобы показать, что каждому спутнику будут соответствовать различные значения параметров и что N -е значение относится к N -му спутнику. Для маски п.п.м. это означает, что данные по уровням п.п.м. структурируются таким образом, что ввод уровня п.п.м. $[N]$ является ссылкой, которая указывает на определенный поднабор. Например, каждый спутник в группировке может ссылаться на одну и ту же таблицу п.п.м.(lat, az, el), п.п.м.(lat, X , Δ long) или п.п.м.(lat, α , Δ long).

Описание параметра	Название параметра	Единицы измерения параметра
Используемая маска п.п.м.	pdf $[N]$	–
Большая полуось	A $[N]$	км
Эксцентриситет	E $[N]$	–
Наклонение	I $[N]$	градусы
Долгота восходящего узла	O $[N]$	градусы
Аргумент перигея	W $[N]$	градусы
Истинная аномалия	V $[N]$	градусы

5.1.3 Параметры временного шага прогона

Следующие параметры должны рассчитываться по алгоритму, приведенному в п. D.4.

Описание параметра	Название параметра	Единицы измерения параметра
Временной шаг	TSTEP	с
Количество временных шагов	NSTEPS	–

5.1.4 Алгоритмы и процедуры расчета

Работающими спутниками НГСО являются спутники вне зоны исключения, находящиеся выше их минимального рабочего угла места и ведущие передачу в направлении (то есть высота выше или равна $MIN_OPERATING_HEIGHT$) земной станции ГСО. Максимальное количество работающих спутников НГСО – это все спутники НГСО, которым разрешено вести передачу на одной частоте в направлении одной и той же зоны на Земле.

Для расчета уровней э.п.п.м.↓, поступающих от одной системы НГСО на одну земную станцию системы ГСО, должен использоваться следующий алгоритм. При необходимости этот алгоритм может использоваться параллельно на нескольких системах ГСО.

- Шаг 1.* Введите параметры для системы НГСО, как указано в п. D.5.1.2.
- Шаг 2.* Введите параметры ГСО, как указано в п. D.5.1.1.
- Шаг 3.* При необходимости вычислите местоположение на ГСО с максимальной э.п.п.м. с помощью алгоритма в п. D.3.1.
- Шаг 4.* Иницируйте статистические данные, обнулив все бины уровней э.п.п.м.↓.
- Шаг 5.* При необходимости вычислите количество и размер временных шагов, используя алгоритм в п. D.4, и, исходя из этого, рассчитайте конечное время.
- Если задействован алгоритм с двумя временными шагами, то используйте подшаг 5.1, в противном случае $N_{coarse} = 1$ все время.
- Подшаг 5.1.* Рассчитайте размер большого временного шага $T_{coarse} = T_{fine} * N_{coarse}$.
- Шаг 6.* Если задействован алгоритм с двумя временными шагами, то повторите подшаг 6.1 и далее до шага 22, пока не достигнете конечного времени, в противном случае повторите шаги 7–22, пока не достигнете конечного времени.
- Подшаг 6.1.* Если это первый шаг, то установите $T_{step} = T_{fine}$.
- Подшаг 6.2.* В противном случае, если осталось меньше чем N_{coarse} шагов, то установите $T_{step} = T_{fine}$.
- Подшаг 6.3.* В противном случае, если любой из углов α или X для последнего временного шага находится в пределах нулевого угла ϕ_{FSR_1} или угла ϕ_{FSR_2} зоны исключения ($(\phi_0$ или $X_0)$), установите $T_{step} = T_{fine}$, иначе установите $T_{step} = T_{coarse}$.
- Шаг 7.* Обновите векторы позиций всех земных станций, основанные на системе координат в п. D.6.1.
- Шаг 8.* Обновите векторы позиций всех спутников ГСО, основанные на системе координат в п. D.6.2.
- Шаг 9.* Обновите векторы позиций и векторы скорости всех спутников НГСО, основанные на системе координат, модели прогнозирования орбиты и алгоритме удержания станции на орбите, как описано в п. D.6.3.
- Шаг 10.* Установите э.п.п.м.↓ = 0.
- Шаг 11.* Выберите все спутники НГСО, видимые с земной станции ГСО, используя алгоритм из п. D.6.4.1.
- Шаг 12.* Повторите шаги 13–18 для каждого видимого спутника НГСО.
- Шаг 13.* Рассчитайте параметры, необходимые для маски п.п.м., которые, в зависимости от требований, имеют вид (lat, α или X , $\Delta long$) либо (широта, азимут, угол места), используя определение углов в п. D.6.4.4 или п. D.6.4.5.
- Шаг 14.* Используя маску п.п.м. для выбранного спутника НГСО, рассчитайте п.п.м. (lat, α или X , $\Delta long$) или п.п.м. (широта, азимут, угол места) на земной станции ГСО с помощью маски п.п.м. спутника НГСО, как указано в п. D.5.1.5.
- Шаг 15.* Рассчитайте внеосевой угол ϕ для земной станции ГСО между линиями на спутник ГСО и спутник НГСО.

- Шаг 16.* Рассчитайте $G_{RX}(\varphi)$ = коэффициенту усиления на приеме (дБ) земной станции ГСО, используя подходящую диаграмму усиления, указанную в алгоритмах в п. D.6.5.
- Шаг 17.* Рассчитайте э.п.п.м.↓_{*i*} для этого спутника НГСО по формуле:
- Шаг 18.* $erfd\downarrow_i = pfd(\alpha) + G_{RX}(\varphi) - G_{max}$, где G_{max} – пиковое усиление антенны земной станции ГСО.
- Шаг 19.* Отсортируйте вклады спутников НГСО в э.п.п.м.↓.
- Шаг 20.* Повторите шаг 21 для наибольших вкладов спутников $N_{co}[lat]$ в э.п.п.м.↓ в этом списке и спутников в пределах зоны исключения, где $N_{co}[lat]$ – это максимальное количество спутников НГСО, работающих на широте рассматриваемой станции GSO_ES, соответствующее максимальному количеству спутников, которым разрешено вести передачу на одной частоте в направлении одной и той же зоны на Земле, с учетом требований зоны исключения ГСО и минимального угла места, как это определено для системы НГСО.
- Шаг 21.* Увеличьте э.п.п.м.↓ на величину э.п.п.м.↓_{*i*}.
- Шаг 22.* Увеличьте статистику э.п.п.м.↓ на величину э.п.п.м.↓ для этого временного шага с помощью вводимых значений (T_{step}/T_{fine}).
- Шаг 23.* Вычислите функцию CDF э.п.п.м.↓ из функции PDF э.п.п.м.↓, используя алгоритм в п. D.7.1.2.
- Шаг 24.* Сравните статистику э.п.п.м.↓ с предельными уровнями, используя алгоритм в п. D.7.1.
- Шаг 25.* Выходные данные представляются в формате, указанном в п. D.7.3.

5.1.5 Расчет маски п.п.м.

Маска п.п.м. определяется в виде таблицы значений п.п.м. для различных углов и широт.

Следует отметить, что диапазон широт должен быть:

минимум: $-i$;
 максимум: $+i$,

где i – это наклонение орбиты спутника НГСО.

Как правило, значения углов (азимут, угол места) либо (α или X), рассчитанные для каждого временного шага, будут находиться между двумя значениями в массивах. В этом случае должна использоваться линейная интерполяция между уровнями п.п.м. Если эти углы расположены вне маски п.п.м., то уровень п.п.м. рассчитывается согласно программному обеспечению исходя из наибольшего угла в маске (то есть на краю маски).

Должна использоваться маска, которая ближе по широте к маске эталонного спутника. Дополнительная информация о формате и выборке маски п.п.м. приведена в части С.

5.1.6 Выходные данные

Результатом применения данного алгоритма являются два массива в формате:

Массив уровней э.п.п.м.↓	erfd_DOWN_CALC[I]	дБ(Вт/(м ² · BW _{ref}))
Массив процентных значений	PC_CALC[I]	%

где PC_CALC[I] – это процент времени превышения erfd_DOWN_CALC[I].

5.2 Описание программного обеспечения э.п.п.м.↑

В этом разделе описывается алгоритм для расчета уровней э.п.п.м.↑ от земных станций НГСО, поступающих в линию вверх ГСО. Местоположение ЗС можно определить одним из двух способов.

- 1) Предполагается, что земные станции НГСО распределены равномерно на поверхности Земли. В этом случае для идентификатора ES_ID маски э.и.и.м. необходимо указать значение -1 .

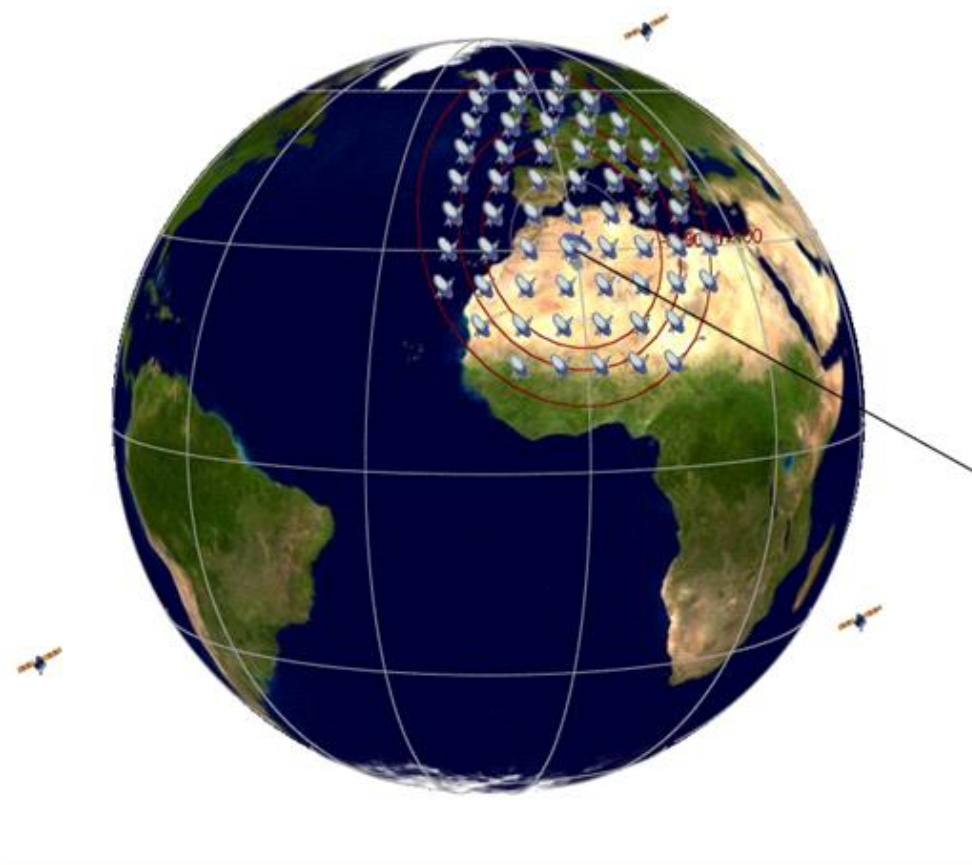
- 2) Местоположение конкретных ЗС указано с помощью поля в маске э.и.и.м. ЗС. В этом случае поле плотности не используется.

Каждая земная станция ориентирована в направлении спутника НГСО с применением правил ориентирования для данной группировки и ведет передачу с определенной э.и.и.м. Исходя из э.и.и.м. и внеосевой диаграммы усиления для каждой земной станции можно вычислить э.п.п.м.↑ на ГСО. Расчет повторяется для ряда временных шагов (или позиций эталонного спутника при использовании аналитического метода) до тех пор, пока не будет получено распределение уровней э.п.п.м.↑. Это распределение можно затем сравнить с предельными уровнями для вынесения решения go/no go ("проверка пройдена/не пройдена").

На рисунке 39 показана геометрия с расположением земных станций НГСО, ведущих передачу в направлении группировки спутников НГСО и контрольного спутника ГСО, осуществляющего прием от земной станции ГСО.

РИСУНОК 39

Пример сценария э.п.п.м. (вверх)



S.1503-39

5.2.1 Параметры конфигурации

В этом подразделе определяются параметры, необходимые для всех расчетов э.п.п.м.↑, описываемых в РР. Это будет совокупность данных из N наборов предельных значений, которую можно использовать во всех прогонах. Соответствующая таблица может запрашиваться таким образом, чтобы требуемые значения могли использоваться в зависимости от частоты системы НГСО.

Для каждого набора предельных значений приведенные ниже параметры будут определяться, как указано в п. D.2.1.

Название параметра	Значение параметра	Единицы измерения и диапазоны параметра
Частота	FREQ	ГГц
Диаграмма усиления ГСО	FEND_UP	Одна из диаграмм в п. D.6.5
Пиковое усиление ГСО	GSO_SAT_PEAKGAIN	дБи
Ширина главного лепестка по половинной мощности для ГСО	GSO_SAT_BEAMWIDTH	градусы
Эталонная ширина полосы	RAFBW	кГц
Количество точек э.п.п.м. ↑	Nepfd_UP	–
Массив уровней э.п.п.м. ↑ Nepfd_DOWN	epfd_UP[I]	дБ(Вт/(м ² · BW _{ref}))
Массив процентов Nepfd_UP	PC_UP[I]	%

5.2.2 Определение конфигурации для максимальной э.п.п.м.

Местоположение спутника ГСО и центра луча для максимальной э.п.п.м. указано в п. D.3.2.

5.2.3 Расчет шагов прогона программы

Временной шаг и количество временных шагов вычисляются с помощью алгоритма в п. D.4, в котором также описывается дополнительный вариант с двумя временными шагами.

5.2.4 Входные данные

5.2.4.1 Входные параметры

В данном разделе определяются входные параметры для конкретного сценария системы НГСО. В этом случае понятие "входные данные" является обобщенным понятием, которое может включать файлы или входные данные, предоставляемые пользователем. Такая информация требуется для:

- системы НГСО;
- системы ГСО;
- конфигурации прогона программы.

5.2.4.2 Параметры систем НГСО

Используются приведенные ниже параметры, как указано в п. B.3.1.

Описание параметра	Название параметра	Единицы измерения параметра
Количество спутников НГСО	N_{sat}	–
Орбита имеет повторяющуюся траекторию на поверхности Земли, обеспечиваемую функцией удержания станции на орбите	Да или нет	–
Администрация указывает конкретную скорость прецессии узла	Да или нет	–
Диапазон удержания станции на орбите для восходящего узла как половина общего диапазона	W_{delta}	градусы

Для каждого спутника будут использоваться следующие параметры, указанные в п. B.3.2, где определения параметров на момент начала моделирования указываются в п. D.6.3.1.

Следует отметить, что в данной ниже таблице индексы [N] приводятся для того, чтобы показать, что каждому спутнику будут соответствовать различные значения параметров и что N-е значение относится к N-му спутнику.

Описание параметра	Название параметра	Единицы измерения параметра
Большая полуось	A[M]	км
Эксцентриситет	E[M]	–
Наклонение	I[M]	градусы
Долгота восходящего узла	O[M]	градусы
Аргумент перигея	W[M]	градусы
Истинная аномалия	V[M]	градусы

Для каждого спутника должен указываться независимый набор из шести параметров орбиты в целях определения орбиты и последующего распространения радиоволн.

Для определения характеристик земных станций НГСО будут использоваться приведенные ниже параметры, как указано в п. В.4.2.

Описание параметра	Название параметра	Единицы измерения параметра
Максимальное количество отслеживаемых спутников НГСО, работающих на совпадающей частоте	ES_TRACK	–
Маска э.и.и.м. земной станции для различных широт	ES_EIRP[lat]	дБ(Вт/ BW_{ref})
Минимальный угол места	ES_MINELEV	градусы
Минимальный угол к дуге ГСО	ES_MIN_GSO	градусы
Среднее количество ЗС НГСО на кв. км	ES_DENSITY	км ²
Среднее расстояние между центрами ячеек или центрами зон обслуживания луча	ES_DISTANCE	км

5.2.4.3 Параметры системы ГСО

Система ГСО может быть либо вычислена, либо она может использовать параметры для наихудшего случая с применением алгоритма в п. D.3.2 или значений введенных данных. Ниже приведены требуемые параметры.

Описание параметра	Название параметра	Единицы измерения параметра
Долгота спутника ГСО	GSO_SAT_LONG	градусы
Широта осевого направления спутника ГСО	BS_LAT	градусы
Долгота осевого направления спутника ГСО	BS_LONG	градусы
Диаграмма усиления эталонного спутника ГСО	GSO_SAT_PATTERN	Одна из диаграмм в п. D.6.5

Эти параметры определяются в пп. D.6.1 и D.6.2.

5.2.4.4 Параметры прогона программы

Следующие параметры необходимо рассчитать по алгоритму, описываемому в п. D.4.

Описание параметра	Название параметра	Единицы измерения параметра
Временной шаг	TSTEP	с
Количество временных шагов	NSTEPS	–

5.2.5 Построение распределения земных станций НГСО

В случае когда местоположения земных станций НГСО определяются с помощью распределения, должен использоваться следующий метод.

Шаг 1. Рассчитайте количество фактически работающих земных станций НГСО, которые будут представляться типовой земной станцией, применяя формулу

$$\text{NUM_ES} = \text{ES_DISTANCE} * \text{ES_DISTANCE} * \text{ES_DENSITY}.$$

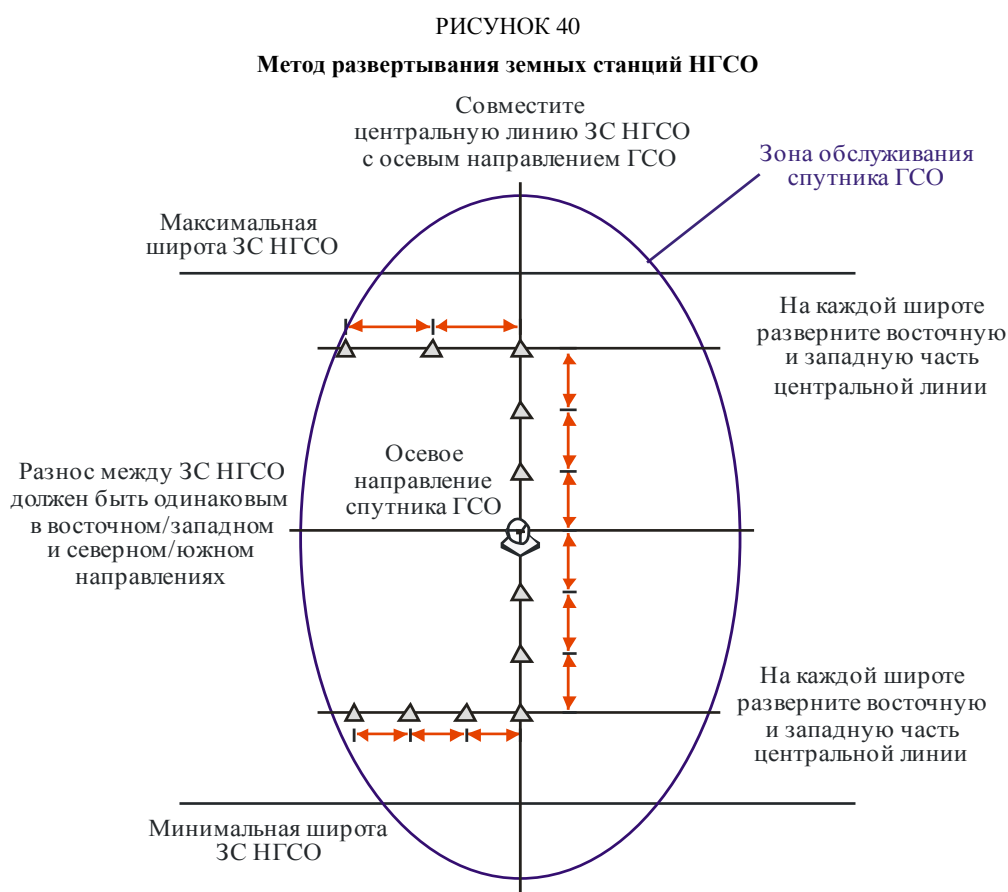
Шаг 2. Рассчитайте э.и.и.м., которая будет использоваться для каждой типовой земной станции НГСО, применяя формулу

$$\text{REP_e.i.r.p.} = \text{ES_e.i.r.p.} + 10\log_{10}(\text{NUM_ES}).$$

Шаг 3. Определите зону обслуживания ГСО как область, охватываемую контуром, представляющим относительное усиление в 15 дБ.

Шаг 4. Для каждого расстояния ES_DISTANCE по широте и расстояния ES_DISTANCE по долготе в пределах зоны обслуживания, определяемой согласно шагу 3, расположите типовую земную станцию НГСО, излучающую мощность REP_e.i.r.p.

Метод развертывания должен быть симметричным по широте, долготе осевого направления спутника ГСО, как показано на рисунке 40.



S.1503-40

Никакие земные станции НГСО не должны развертываться ниже минимальной широты или выше максимальной широты, если эти два экстремальных значения получены с помощью вышеописанного метода.

Значение разноса по широте между ЗС НГСО в радианах можно вычислить исходя из расстояния с помощью формулы

$$\Delta lat = \frac{d}{R_e}$$

Значение разноса по долготе между ЗС НГСО в радианах можно вычислить с помощью формулы

$$\Delta long = \frac{d}{R_e \cos lat}$$

5.2.6 Алгоритмы и процедуры расчетов

Для расчета уровней э.п.п.м.↑, поступающих от одной системы НГСО на один спутник системы ГСО, должен использоваться следующий алгоритм. При необходимости этот алгоритм может использоваться параллельно на нескольких системах ГСО.

- Шаг 1.* Введите параметры для системы НГСО, как указано в п. D.5.2.4.2.
- Шаг 2.* Введите параметры ГСО, как указано в п. D.5.2.4.3.
- Шаг 3.* При необходимости вычислите местоположение на ГСО с максимальной э.п.п.м. с использованием алгоритма в п. D.3.2.
- Шаг 4.* При необходимости вычислите местоположения земных станций НГСО с использованием алгоритма п. D.5.2.5.
- Шаг 5.* Иницируйте статистические данные, обнулив все бины значений э.п.п.м.↑.
- Шаг 6.* При необходимости рассчитайте количество временных шагов и размер временного шага, используя алгоритм в п. D.4, и исходя из этого рассчитайте конечное время.
Если задействован алгоритм с двумя временными шагами, то используйте подшаг 6.1, в противном случае $N_{coarse} = 1$ все время.
Подшаг 6.1. Рассчитайте размер большого шага $T_{coarse} = T_{fine} * N_{coarse}$.
- Шаг 7.* Повторите шаги 8–24 для всех временных шагов.
Если задействован алгоритм с двумя временными шагами, то повторите подшаг 7.1 и далее до шага 22, пока не достигнете конечного времени.
Подшаг 7.1. Если это первый временной шаг, то установите $T_{step} = T_{fine}$.
Подшаг 7.2. В противном случае, если осталось меньше чем N_{coarse} шагов, установите $T_{step} = T_{fine}$.
Подшаг 7.3. В противном случае, если любой из углов α для последнего временного шага находится в пределах угла ϕ_{coarse} зоны исключения, установите $T_{step} = T_{fine}$, в противном случае используйте $T_{step} = T_{coarse}$.
- Шаг 8.* Обновите векторы позиций всех земных станций, используя алгоритм в п. D.6.1.
- Шаг 9.* Обновите векторы позиций и векторы скорости всех спутников НГСО, используя алгоритм в п. D.6.3.2.
- Шаг 10.* Обновите векторы позиций спутника ГСО, используя алгоритм в п. D.6.2.
- Шаг 11.* Установите э.п.п.м.↑ = 0.
- Шаг 12.* Повторите шаги 13–23 для всех земных станций НГСО.
- Шаг 13.* Определите, видна ли эта земная станция НГСО со спутника ГСО, используя алгоритм в п. D.6.4.1.
- Шаг 14.* Если земная станция НГСО видна со спутника ГСО, то выполните шаги 15–23.
- Шаг 15.* Повторите шаги 16–23 для максимального количества спутников НГСО, которые можно отследить.
- Шаг 16.* Выберите i -й спутник вдали от спутника ГСО, который расположен выше минимального угла места и не входит в зону исключения ГСО.
- Шаг 17.* Если по данному алгоритму спутник выбран, то выполните шаги 18–23.

Шаг 18. Рассчитайте $ES_EIRP[lat]$ (дБ(Вт/ BW_{ref})) земной станции НГСО на ее заданной широте в направлении спутника ГСО, используя маску э.и.и.м. земной станции НГСО в п. С.3:

$$REP_EIRP = ES_EIRP[lat] + 10\log_{10}(NUM_ES).$$

Шаг 19. Рассчитайте G_{RX} = относительному усилению при приеме (дБ) на спутнике ГСО, используя подходящую диаграмму усиления, указанную в алгоритмах в п. D.6.5.

Шаг 20. Рассчитайте D = расстоянию (км) между земной станцией НГСО и спутником ГСО, используя алгоритм в п. D.6.4.1.

Шаг 21. Рассчитайте коэффициент расширения $L_{FS} = 10\log(4\pi D^2) + 60$.

Шаг 22. Рассчитайте э.п.п.м. \uparrow_i для этого спутника НГСО:

$$\text{э.п.п.м.}\uparrow_i = REP_EIRP - L_{FS} + G_{RX} - G_{\max}.$$

Шаг 23. Увеличьте э.п.п.м. \uparrow на приращение э.п.п.м. \uparrow_i .

Шаг 24. Увеличьте статистику э.п.п.м. \uparrow на эту величину э.п.п.м. \uparrow .

Если задействован алгоритм с двумя временными шагами, то должен использоваться указанный ниже шаг.

Подшаг 24.1. Увеличьте статистику э.п.п.м. \uparrow на величину э.п.п.м. \uparrow для этого временного шага с помощью введенных значений T_{step}/T_{fine} .

Шаг 25. Вычислите функцию CDF э.п.п.м. \uparrow , исходя из функции pdf э.п.п.м. \uparrow , используя алгоритм в п. D.7.1.2.

Шаг 26. Сравните статистику э.п.п.м. \uparrow с предельными уровнями, используя алгоритм в п. D.7.1.

Шаг 27. Выходные данные представляются в формате, указанном в п. D.7.2.

5.2.7 Выходные данные

Результатом применения данного алгоритма является создание двух массивов с размером $NEPFD\uparrow$ в формате:

Массив значений $Nepfd_UP\ epdf\uparrow$	$epfd_UP_CALC[I]$	дБ(Вт/($m^2 \cdot BW_{ref}$))
Массив процентных значений $Nepfd_UP$	$PC_CALC[I]$	%

где $PC_CALC[I]$ – это процент времени превышения уровня $epfd_UP_CALC[I]$.

5.3 Описание программного обеспечения э.п.п.м.ИС

В этом разделе описывается алгоритм для расчета уровней э.п.п.м.ИС от космических станций НГСО, поступающих в линию вверх ГСО. Исходя из э.и.и.м. и внеосевого угла для каждой космической станции, можно вычислить уровень э.п.п.м.ИС на космической станции ГСО. Такой расчет повторяется для ряда временных шагов (или позиций эталонного спутника при использовании аналитического метода), до тех пор пока не будет получено распределение уровней э.п.п.м.ИС. Это распределение можно затем сравнить с предельными уровнями для вынесения решения go/no go ("проверка пройдена/не пройдена").

5.3.1 Параметры конфигурации

В этом подразделе определяются параметры, необходимые для всех расчетов э.п.п.м.ИС, описываемых в РР. Это будет совокупность данных из N наборов предельных значений, которую можно использовать во всех прогонах. Соответствующая таблица может запрашиваться таким образом, чтобы требуемые значения могли использоваться в зависимости от частоты системы НГСО.

Для каждого набора предельных значений приведенные ниже параметры будут определяться, как указано в п. D.2.1.

Название параметра	Значение параметра	Единицы измерения и диапазоны измерения параметра
Начало полосы частот	FREQ	Гц
Диаграмма усиления ГСО	FEND_IS	Одна из диаграмм в п. D.5.5
Пиковое усиление ГСО	GSO_SAT_PEAKGAIN	дБи
Ширина главного лепестка по половинной мощности для ГСО	GSO_SAT_BEAMWIDTH	градусы
Эталонная ширина полосы	RIFBW	кГц
Количество точек э.п.п.м. _{IS}	Nepfd_IS	–
Массив уровней э.п.п.м. _{IS} Nepfd_IS	epfd_IS[I]	дБ(Вт/(м ² · BW _{rij}))
Массив процентов Nepfd_IS	PC_IS[I]	%

5.3.2 Определение конфигурации с максимальной э.п.п.м.

Местоположение спутника ГСО и центра луча для максимальной э.п.п.м. определяется в п. D.3.3.

5.3.3 Расчет шагов прогона программы

Один временной шаг и количество временных шагов вычисляются с использованием алгоритма в п. D.4.

5.3.4 Входные параметры

В данном подразделе определяются входные параметры для конкретного сценария системы НГСО. В этом случае понятие "входные данные" является обобщенным понятием, которое может включать файлы или входные данные, предоставляемые пользователем. Такая информация требуется для:

- системы НГСО;
- системы ГСО;
- конфигурации прогона программы.

5.3.4.1 Параметры системы НГСО

Используются приведенные ниже параметры, как указано в п. B.2.1.

Описание параметра	Название параметра	Единицы измерения параметра
Количество спутников НГСО	N_{sat}	–
Орбита имеет повторяющуюся траекторию на поверхности Земли, обеспечиваемую функцией удержания станции на орбите	Да или нет	–
Администрация указывает конкретную скорость прецессии узла	Да или нет	–
Диапазон удержания станции на орбите для восходящего узла как половина общего диапазона	W_{delta}	градусы

Для каждого спутника будут использоваться следующие параметры, указанные в п. B.2.1, где определения параметров приводятся в п. D.6.3.1 на момент начала моделирования.

Следует отметить, что в данной ниже таблице индексы [N] приводятся для того, чтобы показать, что каждому спутнику будут соответствовать различные значения параметров и что N-е значение относится к N-му спутнику.

Описание параметра	Название параметра	Единицы измерения параметра
Большая полуось	A[N]	км
Эксцентриситет	E[N]	–
Наклонение	I[N]	градусы
Долгота восходящего узла	O[N]	градусы
Аргумент перигея	W[N]	градусы
Истинная аномалия	V[N]	градусы

Для каждого спутника должен указываться независимый набор из шести параметров орбиты в целях определения орбиты и последующего распространения радиоволн.

Для определения характеристик земных станций НГСО будут использоваться приведенные ниже параметры, как указано в п. В.4.3.

Описание параметра	Название параметра	Единицы измерения параметра
э.и.м. на космическую станцию для различных широт	non-GSO_SS_EIRP	дБ(Вт/ BW_{rif})
Минимальная частота передачи ⁽¹⁾	IS_F	ГГц

⁽¹⁾ Заявляющая администрация может предоставить набор масок э.и.м. космической станции и соответствующий диапазон частот, для которого они подходят.

5.3.4.2 Параметры системы ГСО

Система ГСО может использовать либо параметры наихудшего случая с применением алгоритма в п. D.5.2, либо значения введенных данных. Ниже приведены требуемые параметры.

Описание параметра	Название параметра	Единицы измерения параметра
Долгота спутника ГСО	GSO_SAT_LONG	градусы
Широта осевого направления спутника ГСО	BS_LAT	градусы
Долгота осевого направления спутника ГСО	BS_LONG	градусы
Эталонная диаграмма усиления спутника ГСО	GSO_SAT_PATTERN	Одна из диаграмм в п. D.5.5

Эти параметры определяются в пп. D.6.1 и D.6.2.

5.3.4.3 Параметры прогона программы

Следующие параметры необходимо рассчитать по алгоритму, описываемому в п. D.4.

Описание параметра	Название параметра	Единицы измерения параметра
Временной шаг	TSTEP	с
Количество временных шагов	NSTEPS	–

5.3.5 Алгоритмы и процедуры расчетов

При расчете двойного временного шага для вычисления э.п.п.м._{IS}, установите $N_{coarse} = 1$.

Для расчета уровней э.п.п.м._{IS}, поступающих от одной системы НГСО на один спутник системы ГСО, должен использоваться приведенный ниже алгоритм. При необходимости этот алгоритм может использоваться параллельно на нескольких системах ГСО.

- Шаг 1.* Введите параметры для системы НГСО, как указано в п. D.5.3.4.2.
- Шаг 2.* Введите параметры ГСО, как указано в п. D.5.3.4.3.
- Шаг 3.* При необходимости вычислите местоположение на ГСО для наихудшего случая с использованием алгоритма в п. D.3.3.
- Шаг 4.* Иницилируйте статистические данные, обнулив все бины уровней э.п.п.м._{IS}.
- Шаг 5:* При необходимости рассчитайте количество временных шагов и размер временного шага, используя алгоритм в п. D.4, и исходя из этого рассчитайте конечное время.
Если задействован алгоритм с двумя временными шагами, то тогда используйте подшаг 5.1, в противном случае $N_{coarse} = 1$ все время.
- Подшаг 5.1.* Рассчитайте размер большого временного шага $T_{coarse} = T_{fine} * N_{coarse}$.
- Шаг 6.* Повторите шаги 7–19 для всех временных шагов.
Если задействован алгоритм с двумя временными шагами, то тогда повторите подшаг 6.1 и далее до шага 17, пока не достигнете конечного времени.
- Подшаг 6.1.* Если это первый временной шаг, то тогда установите $T_{step} = T_{fine}$.
- Подшаг 6.2.* В противном случае если осталось меньше чем N_{coarse} шагов, то тогда установите $T_{step} = T_{fine}$.
- Подшаг 6.3.* В противном случае если любой из углов α для последнего временного шага находится в пределах угла φ_{coarse} зоны исключения, то тогда установите $T_{step} = T_{fine}$, в противном случае установите $T_{step} = T_{coarse}$.
- Шаг 7.* Обновите векторы позиций и векторы скорости всех спутников НГСО, используя алгоритм в п. D.6.3.
- Шаг 8.* Обновите векторы позиций спутника ГСО, используя алгоритм в п. D.6.2.
- Шаг 9.* Установите э.п.п.м._{IS} = 0.
- Шаг 10.* Повторите шаги 10–18 для всех космических станций НГСО.
- Шаг 11.* Определите, видна ли эта космическая станция НГСО со спутника ГСО, используя алгоритм в п. D.6.4.1.
- Шаг 12.* Если космическая станция НГСО видна со спутника ГСО, то выполните шаги 13–18.
- Шаг 13.* Вычислите э.и.и.м. (дБ(Вт/ВW_{ref})) космической станции НГСО в направлении спутника ГСО, используя маску э.и.и.м. в п. С.3 для широты космической станции НГСО.
- Шаг 14.* Рассчитайте G_{RX} = относительному усилению при приеме (дБ) на спутнике ГСО, используя подходящую диаграмму усиления, указанную в алгоритмах в п. D.6.5.
- Шаг 15.* Рассчитайте D = расстоянию (км) между космической станцией НГСО и спутником ГСО, используя алгоритм в п. D.6.4.1.
- Шаг 16.* Рассчитайте коэффициент расширения $L_{FS} = 10 \log(4\pi D^2) + 60$.
- Шаг 17.* Рассчитайте э.п.п.м._{ISi} для этого спутника НГСО:
$$\text{э.п.п.м.}_{ISi} = \text{э.и.и.м.} - L_{FS} + G_{RX} - G_{\max}$$
- Шаг 18.* Увеличьте э.п.п.м._{IS} на приращение э.п.п.м._{ISi}.
- Шаг 19.* Увеличьте статистику э.п.п.м._{IS} на эту величину э.п.п.м._{IS}.
Если задействован алгоритм с двумя временными шагами, то должен использоваться указанный ниже шаг.
- Подшаг 19.1.* Увеличьте статистику э.п.п.м._{IS} на величину э.п.п.м._{IS} для этого временного шага с помощью ввода параметра T_{step}/T_{fine} .

Шаг 20: Вычислите функцию CDF э.п.м.ис из функции pdf э.п.м.ис, используя алгоритм в п. D.7.1.2.

Шаг 21: Сравните статистику э.п.м.ис с предельными уровнями, используя алгоритм в п. D.7.1.

Шаг 22: Выходные данные представляются в формате, указанном в п. D.7.2.

5.3.6 Выходные данные

Результатом применения данного алгоритма являются два массива в формате:

Массив значений NEPFD_IS $epfd_{IS}$	$epfd_{IS_CALC}[I]$	(дБ(Вт/(м ² ·BW _{ref})))
Массив процентных значений NEPFD_IS	PC_CALC[I]	%

где PC_CALC[I] – это процент времени, когда превышаетея уровень $epfd_{IS_CALC}[I]$.

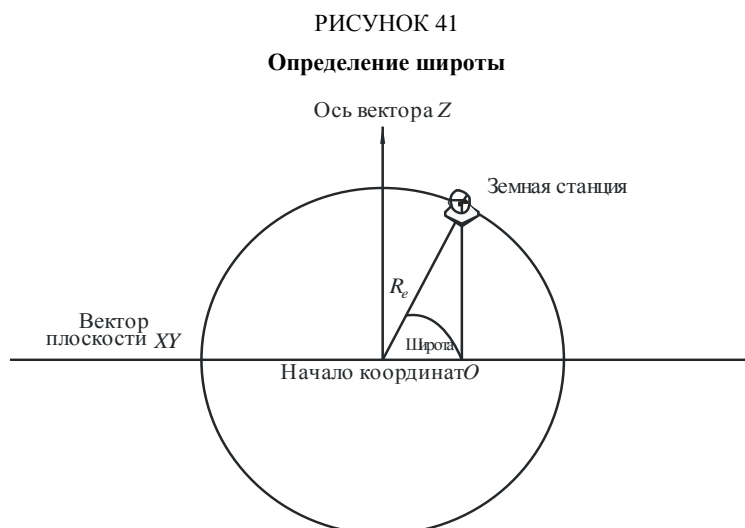
6 Геометрия и алгоритмы

В этом разделе приводится описание геометрии, которая определяет используемые в программном обеспечении основные алгоритмы. Одним из аспектов является преобразование в систему координат, основанную на обобщенных декартовых векторах. Точная ориентация вектора X в настоящей Рекомендации не указывается, чтобы дать возможность разработчикам осуществить альтернативные реализации. Выбранная ось не должна оказывать влияние на результаты определения спутниковых и земных координат относительно Земли.

Для оказания помощи разработчикам используются примеры систем координат, показывающие способ преобразования в обобщенные векторы, а также обратную процедуру.

6.1 Система координат Земли

На рисунке 41 показана эталонная система координат для земных станций.



S.1503-41

Земля определяется как сфера с радиусом R_e , указанным в п. A.2.2. Земля вращается вокруг оси Z со скоростью Ω_e , определенной в п. A.2.2. Перпендикулярно оси Z , пересекая Землю на экваторе, проходит плоскость XY .

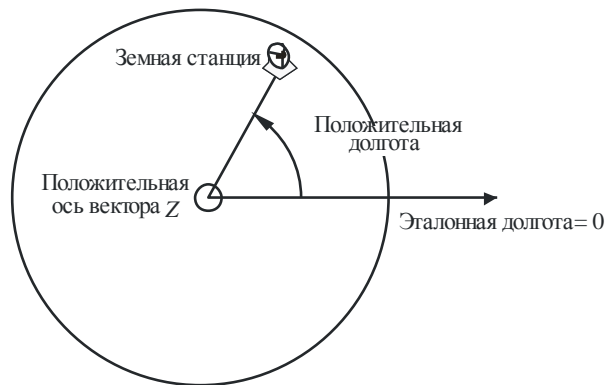
Расположение земных станций на этой сфере определяется двумя углами:

широта – угол между линией от центра Земли до земной станции и плоскостью XY ;

долгота – угол, показанный на рисунке 42.

РИСУНОК 42

Определение долготы



S.1503-42

Предполагается, что расположение земных станций постоянно и не меняется со временем.

В настоящей Рекомендации ориентация осей X и Y на плоскости XU не указывается, так как координаты всех местоположений определяются относительно Земли, а не одной отдельной инерциальной системы координат. Это позволяет использовать при необходимости в различных реализациях разные опорные точки, не оказывая влияния на результаты.

Одной из возможных реализаций является реализация, описываемая как геоцентрическая инерциальная система. Для этого примера преобразование из географических координат осуществляется с использованием формул:

$$\text{long} = \arccos\left(\frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}\right), \quad \text{если } y \geq 0; \quad (5)$$

$$\text{long} = -\arccos\left(\frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}\right), \quad \text{если } y < 0; \quad (6)$$

$$\text{lat} = \arctan\left(\frac{z}{\sqrt{x^2+y^2}}\right). \quad (7)$$

Если в этом примере используется система координат, то тогда преобразование из географических координат в координаты геоцентрической инерциальной системы имеет вид:

$$x = R_e \cos(\text{lat}) \cos(\text{long}); \quad (8)$$

$$y = R_e \cos(\text{lat}) \sin(\text{long}); \quad (9)$$

$$z = R_e \sin(\text{lat}), \quad (10)$$

где:

(x, y, z) : координаты в географической инерциальной системе;

long : географическая долгота;

lat : географическая широта.

В этом примере геоцентрической инерциальной системы координат уравнение для движения точечной массы на поверхности Земли имеет вид

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_e \cos(\text{lat}) \cos(\text{lon} + \Omega_e t) \\ R_e \cos(\text{lat}) \sin(\text{lon} + \Omega_e t) \\ R_e \sin(\text{lat}) \end{bmatrix}, \quad (11)$$

где:

lat : географическая широта точечной массы на поверхности Земли;

lon : географическая долгота точечной массы на поверхности Земли;

t : время;

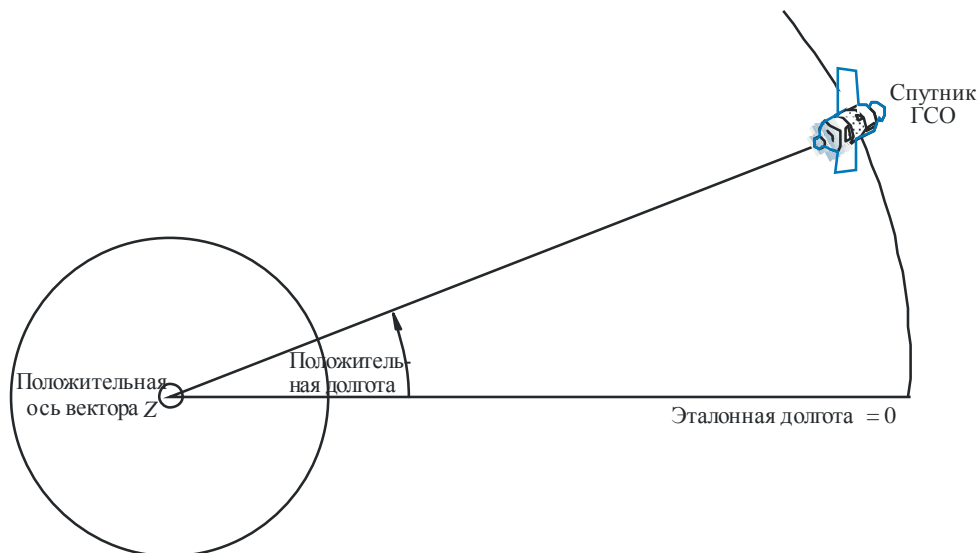
Ω_e : угловая скорость вращения Земли.

6.2 Система координат спутника ГСО

Дуга геостационарной орбиты – это окружность в плоскости XU на расстоянии R_{geo} от центра Земли, где величина R_{geo} указывается в п. А.2.2. Отдельные геостационарные спутники занимают на этой окружности позицию, определяемую по долготе, как показано на рисунке 43.

РИСУНОК 43

Определение долготы спутника ГСО



S.1503-43

Предполагается, что геостационарные спутники имеют постоянную долготу, которая не меняется со временем. При преобразовании в векторы и при обратном преобразовании могут использоваться те же алгоритмы, что и в вышеприведенном разделе, посредством установки широты на нуль.

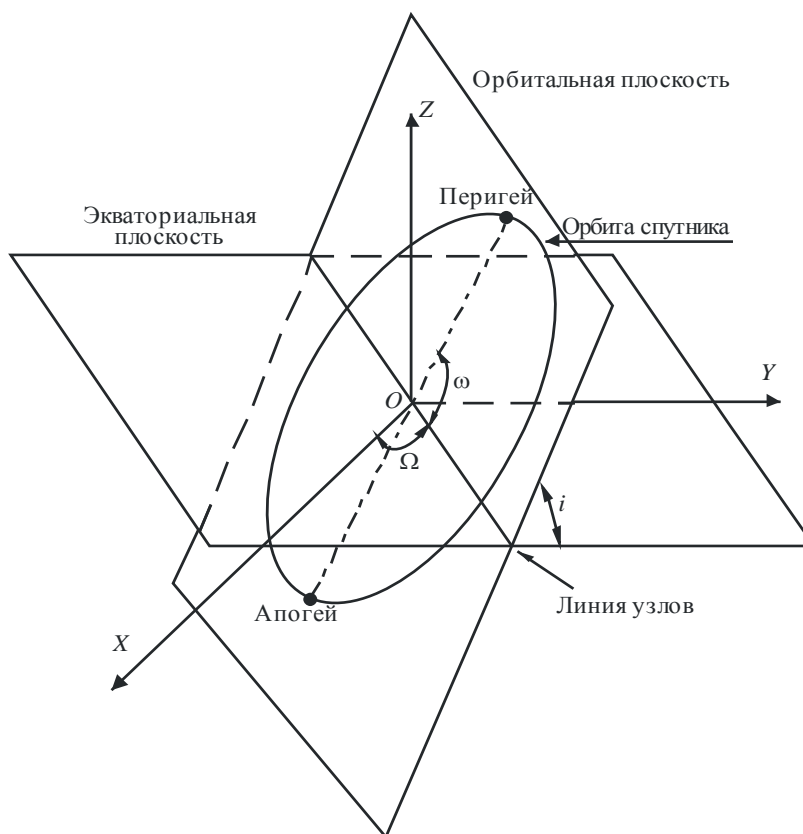
6.3 Система координат спутника НГСО

6.3.1 Параметры орбиты спутника НГСО

В этом разделе определяются параметры, характеризующие орбиты спутников НГСО. Спутники НГСО движутся в плоскости, показанной на рисунке 44.

РИСУНОК 44

Углы орбитальной станции



S.1503-44

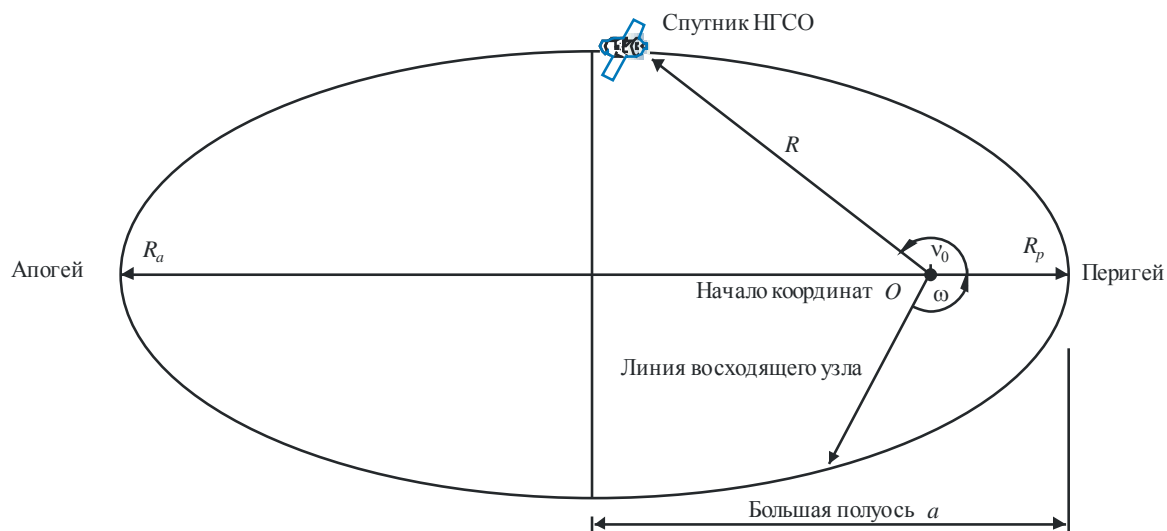
Координаты плоскости орбиты определяются двумя углами:

- Ω : долгота восходящего узла. Этот угол определяет, где плоскость восходящего узла орбиты пересекает экваториальную плоскость. Так как орбита фиксирована в инерциальном пространстве в процессе вращения Земли, должна быть указана точка отсчета времени, для которой данный угол действителен. В таком случае эта точка соответствует началу моделирования;
- i : угол наклонения. Этот угол определяется как угол между плоскостью орбиты и экваториальной плоскостью.

Орбита и позиция спутника НГСО на орбите далее определяются с помощью дополнительных параметров, как показано на рисунке 45.

РИСУНОК 45

Определение углов в плоскости спутника НГСО



S.1503-45

Форма орбиты определяется выражениями:

$$a = (R_a + R_p)/2; \quad (12)$$

$$e = (R_a - R_p)/(R_a + R_p), \quad (13)$$

где:

a : большая полуось;

e : эксцентриситет;

R_a : расстояние от центра Земли до спутника в апогее;

R_p : расстояние от центра Земли до спутника в перигее.

Позиция точки перигея на плоскости орбиты определяется с помощью:

ω : аргумента перигея – угла между линией узлов и перигеем.

Позиция спутника НГСО на плоскости в конкретное время определяется с помощью:

v_0 : угла между перигеем и заданной точкой на орбите.

Для круговых орбит угол ω может быть установлен на нуль, а угол v_0 принимается таким же, что и аргумент широты, определяемый как:

$$\mu_0 = \omega + v_0. \quad (14)$$

Ниже приведены другие полезные параметры:

$$p = a(1 - e^2); \quad (15)$$

$$M = E - e \sin E; \quad (16)$$

$$\tan \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \tan \frac{E}{2}; \quad (17)$$

$$R = \frac{p}{1 + e \cos(v)}; \quad (18)$$

$$T = 2\pi\sqrt{a^3/\mu}, \quad (19)$$

где:

p : фокальный параметр;

E : аномалия эксцентриситета;

M : средняя аномалия;

T : период орбиты;

R : расстояние от центра Земли до спутника, когда спутник находится на позиции v .

Эти параметры могут использоваться в алгоритме для прогнозирования будущей позиции спутника НГСО, как описано в п. D.5.

6.3.2 Прогнозист орбиты спутника НГСО

При заданных в вышеприведенном разделе элементах орбиты для прогнозирования позиции спутника на будущее может использоваться стандартная механика орбиты. Кроме того, имеются три дополнительных фактора прецессии для восходящего узла и аргумента перигея, как описано далее.

Линия узлов

$$\bar{n} = n_0 \left(1 + \frac{3}{2} \frac{J_2 R_E^2}{p^2} \left(1 - \frac{3}{2} \sin^2(i) \right) (1 - e^2)^{1/2} \right), \quad (20)$$

где:

$$J_2 = 0,001082636;$$

$$n_0 = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}}.$$

Прецессия орбиты на долготе восходящего узла

Скорость векового дрейфа долготы восходящего узла определяется как

$$\Omega_r = -\frac{3}{2} \frac{J_2 R_E^2}{p^2} \bar{n} \cos(i). \quad (21)$$

Из вышесказанного следует, что полярные орбиты имеют нулевую скорость прецессии, а экваториальные орбиты – максимальную скорость. При прямом движении спутника ($i < 90^\circ$) восходящий узел смещается к западу (в направлении уменьшения Ω), а при обратном движении спутника ($i > 90^\circ$) он смещается к востоку (в направлении увеличения Ω).

Прецессия аргумента перигея

Скорость векового смещения аргумента перигея определяется как:

$$\omega_r = \frac{3}{2} \frac{J_2 R_E^2}{p^2} \bar{n} \left(2 - \frac{5}{2} \sin^2(i) \right). \quad (22)$$

Скорость прецессии аргумента перигея для углов $i = 0$ и $i = 180^\circ$ является максимальной. Для $i_1 = 63^\circ 26' 06''$ или $i_2 = 116^\circ 33' 54''$ скорость прецессии равна нулю. Если $i < i_1$ или $i > i_2$, то прецессия перигея наблюдается вдоль направления движения спутника, а если $i_1 < i < i_2$ – то в противоположном направлении.

Использование параметров для определения прецессии

Аргумент перигея определяется как:

$$\omega = \omega_0 + \omega_r t, \quad (23)$$

где:

ω_0 : аргумент перигея в начальный момент;

ω_r : скорость прецессии аргумента перигея.

Текущее значение долготы восходящего узла определяется как:

$$\Omega = \Omega_0 + \Omega_r t, \quad (24)$$

где:

Ω_0 : долгота восходящего узла в начальный момент;

Ω_r : скорость прецессии долготы восходящего узла.

Преобразование в обобщенный вектор, основанный на декартовой системе координат, зависит от направления вектора X . Для системы координат, рассматриваемой в качестве примера, и для круговых орбит уравнение движения спутника в геоцентрической инерциальной системе координат может определяться как

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R(\cos(v + \omega) \cos(\Omega) - \sin(v + \omega) \sin(\Omega) \cos(i)) \\ R(\cos(v + \omega) \sin(\Omega) + \sin(v + \omega) \cos(\Omega) \cos(i)) \\ R \sin(v + \omega) \sin(i) \end{bmatrix}. \quad (25)$$

Движение спутника по эллиптической орбите неравномерно, поэтому в модели для определения истинной аномалии в зависимости от времени будут использоваться уравнение Кеплера и концепция средней аномалии. Поскольку точные данные о зависимости истинной аномалии от времени отсутствуют, то для определения такой зависимости использовались численные методы решения приведенного ниже выражения. Данное выражение имеет вид

$$M = M_0 + \bar{n}t. \quad (26)$$

6.3.3 Система удержания станции на спутниковой орбите НГСО

Важным аспектом для системы удержания станции на орбите является моделирование нескольких проходов спутника НГСО через главный луч земной станции с немного различающимися направлениями пересечения. Поскольку изменение позиции в плоскости орбиты не оказывает влияния, то тогда основным параметром, влияющим на изменения, является долгота восходящего узла.

Предлагаемый подход заключается в том, чтобы задать диапазон $\pm W_{\text{delta}}$ изменения долготы восходящего узла. В начале моделирования все станции в группировке характеризуются смещением этого параметра на $-W_{\text{delta}}$. В процессе моделирования это поле увеличится до 0 (в средней точке прогона программы), а затем увеличится до $\pm W_{\text{delta}}$.

Эта задача выполняется посредством вращения векторов позиции и скорости станции вокруг оси Z на требуемый угол, как указано в п. D.6.3.4.

6.3.4 Вынужденная прецессия орбиты

Стандартный алгоритм прогнозирования орбиты основан на точечной массе Земли плюс поправочные коэффициенты для возмущений J_2 . Возможны два случая, когда не нужно учитывать этот алгоритм:

- когда администрации в целях обеспечения повторяющейся траектории движения спутника на поверхности Земли предоставляют подробные данные о скорости прецессии орбиты относительно точечной массы Земли;
- для неповторяющихся орбит, когда для обеспечения необходимого разнеса между экваториальными проходами используется искусственно заданная скорость прецессии.

Реализация этих случаев осуществляется посредством вращения векторов позиции и скорости спутника НГСО вокруг оси Z на требуемый угол, используя матрицу вращения:

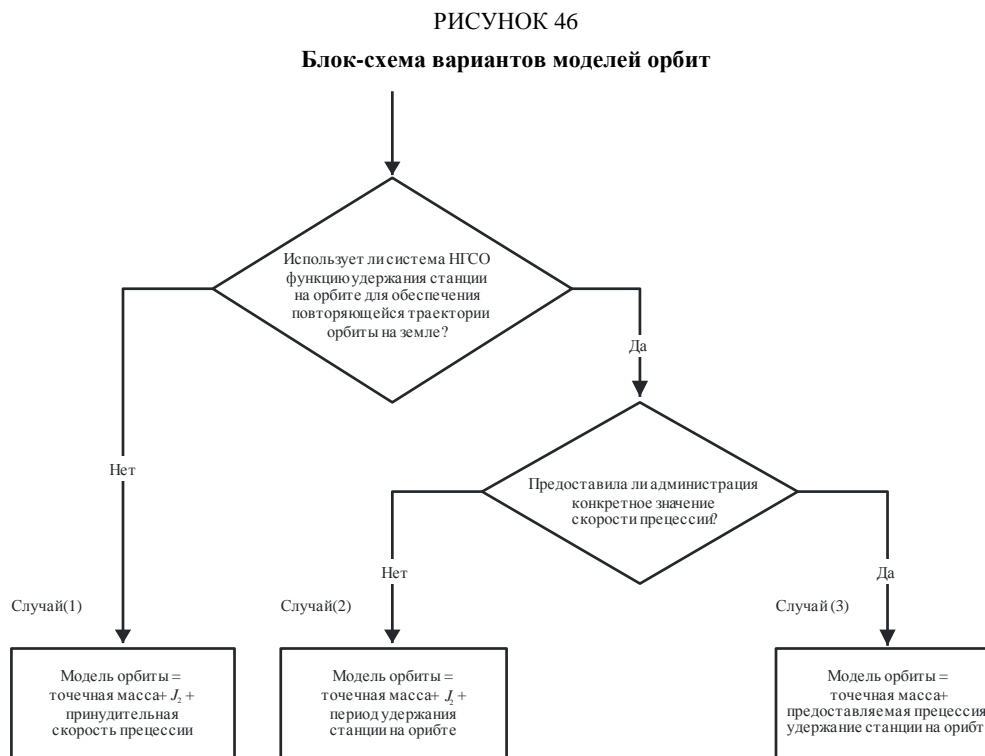
$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (27)$$

для вращения на угол θ .

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Скорость прецессии орбиты, предоставляемая согласно пункту а), должна проверяться с помощью программного обеспечения на предмет самосогласованности с другими входными параметрами.

6.3.5 Объединение моделей орбиты

Различные варианты моделей орбит можно объединить тремя способами, как показано на рисунке 46.



S.1503-46

Следует отметить, что группировка экваториальной орбиты ($i = 0$) является частным случаем, когда та или иная станция не удерживается на орбите, но трасса орбиты каждого спутника все же повторяется после одного прохождения орбиты.

Поэтому данный случай должен рассматриваться как случай (1), но с нулевой принудительной прецессией, как описывается в п. D.4.

6.3.6 Преобразование параметров орбиты исходя из данных SRS

Базы данных SRS/IFIC содержат следующие параметры орбиты.

Таблица *orbit* (орбита):

- высота апогея (км) = h_a ;
- высота перигея (км) = h_p ;
- угол наклона (градусы) = INC;
- прямое восхождение (градусы) = RA;
- долгота восходящего угла (градусы) = LAN;
- аргумент перигея (градусы) = AP.

Таблица *phase* (фаза):

- фазовый угол (градусы) = PA.

Для большинства этих полей возможно преобразование практически напрямую в требуемые параметры орбиты, например:

$$a = R_e + \frac{h_a + h_p}{2};$$

$$e = \frac{h_a - h_p}{2a};$$

$$i = \text{INC};$$

$$\Omega = \text{LAN};$$

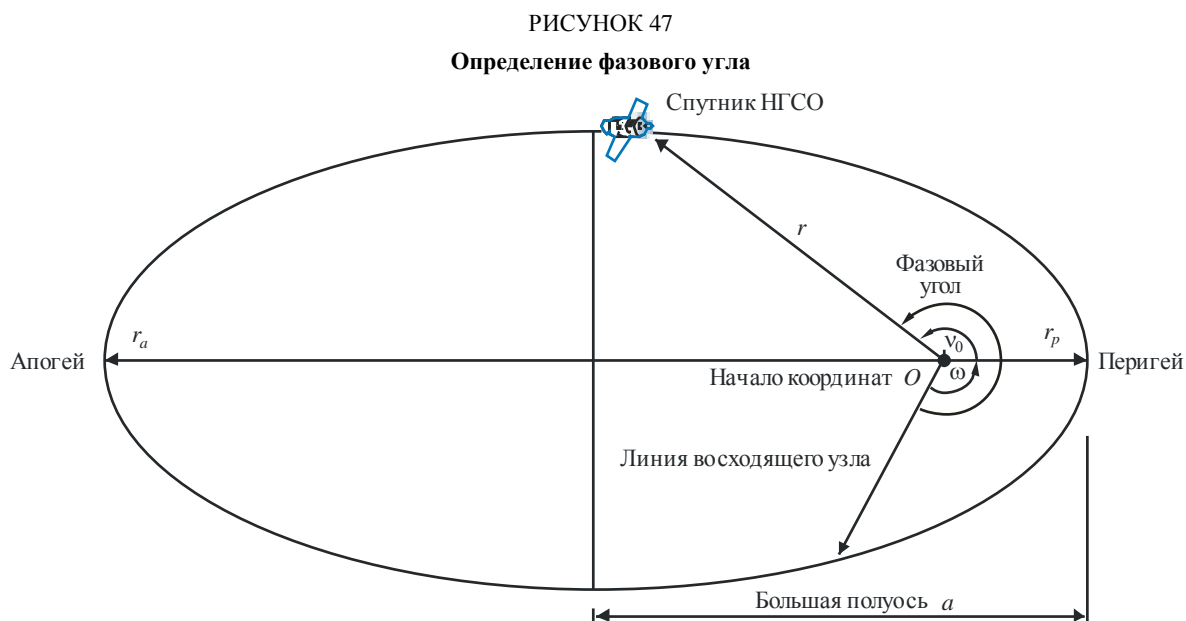
$$\omega = \text{AP}.$$

Следует отметить, что в данном алгоритме восходящий узел определяется на основе долготы, а не прямого восхождения; это обеспечивает правильное соотношение орбиты с долготой земной станции.

В последнюю очередь определяется поле истинной аномалии v , которую можно вычислить по фазовому углу. Фазовый угол определяется в Приложении 4 РР:

A.4.b.5.b: начальный фазовый угол ω_i i -го спутника в его орбитальной плоскости в эталонное время $t = 0$, измеренный в точке восходящего узла ($0^\circ \leq \omega_i < 360^\circ$).

Фазовый угол показан на рисунке 47.



S.1503-47

Таким образом, истинную аномалию можно вычислить исходя из фазового угла следующим образом:

$$v_0 = PA - \omega.$$

6.4 Геометрия

6.4.1 Расстояние между двумя станциями

Пусть даны векторы позиции двух станций в виде (x, y, z) , тогда расстояние D между ними можно рассчитать по формуле

$$D = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}.$$

6.4.2 Расстояние до горизонта Земли

Расстояние D_h до горизонта для станции, имеющей вектор позиции с началом в центре Земли и величиной R , можно рассчитать по формуле

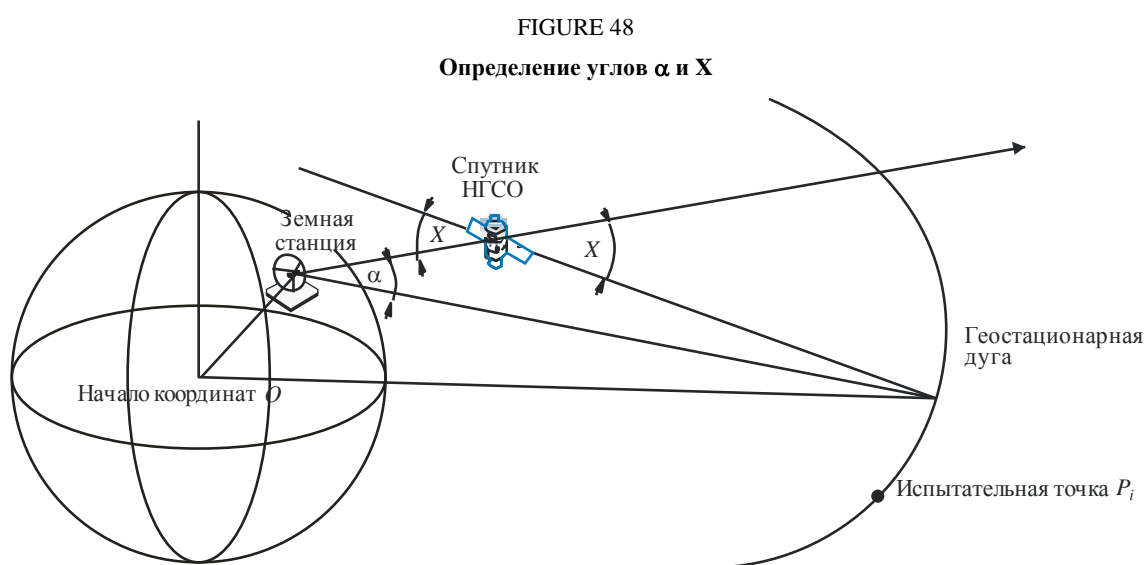
$$D_h = \sqrt{R^2 - R_e^2}.$$

6.4.3 Проверка видимости спутника

Две станции (земные станции или спутники) являются видимыми, если прямое расстояние между ними меньше суммы расстояний до горизонта для каждой станции, при использовании модели сферической Земли, описываемой в п. D.6.1.

6.4.4 Угол к дуге ГСО и $\Delta\text{Longitude}$

На рисунке 48 показано определение угла α и угла X .



S.1503-48

На этом рисунке показаны испытательная земная станция и спутник НГСО.

Для каждой испытательной точки P_i на дуге ГСО существует линия от земной станции, которая пересекает эту точку. В этом случае угол между данной линией и линией от земной станции до спутника НГСО равен α_i .

Угол α является минимальным из всех испытательных точек и для него вышеуказанная линия не пересекает Землю, то есть

$$\alpha = \min(\alpha_i).$$

Аналогично для каждой испытательной точки P_i на дуге ГСО существует линия от спутника НГСО, которая пересекает эту точку. В этом случае угол между данной линией и линией от земной станции до спутника НГСО равен X_i .

Угол X является минимальным из всех испытательных точек и для него вышеуказанная линия не пересекает Землю, то есть

$$X = \min(X_i).$$

Знак углов α и X определяется по тому, как линия от земной станции к спутнику НГСО пересекает плоскость XU на расстоянии меньшем или большем, чем радиус ГСО.

Дано:

вектор позиции земной станции: \underline{R}_{ES} ;

вектор позиции спутника НГСО: \underline{R}_{NS} .

Постройте линию:

$$\underline{R} = \underline{R}_{ES} + \lambda \underline{R}_{EN},$$

где:

$$\underline{R}_{EN} = \underline{R}_{NS} - \underline{R}_{ES}.$$

Эта линия пересекает плоскость XY , когда:

$$R(z) = 0,$$

то есть если:

$$\lambda_{z=0} = \frac{-R_{ES}(z)}{R_{EN}(z)}.$$

Следовательно:

$$\underline{R}_{z=0} = \underline{R}_{ES} + \lambda_{z=0} \underline{R}_{EN}.$$

Тогда знак углов α и X определяется следующим образом:

если $R_{z=0} > R_{geo}$, тогда угол α положительный;

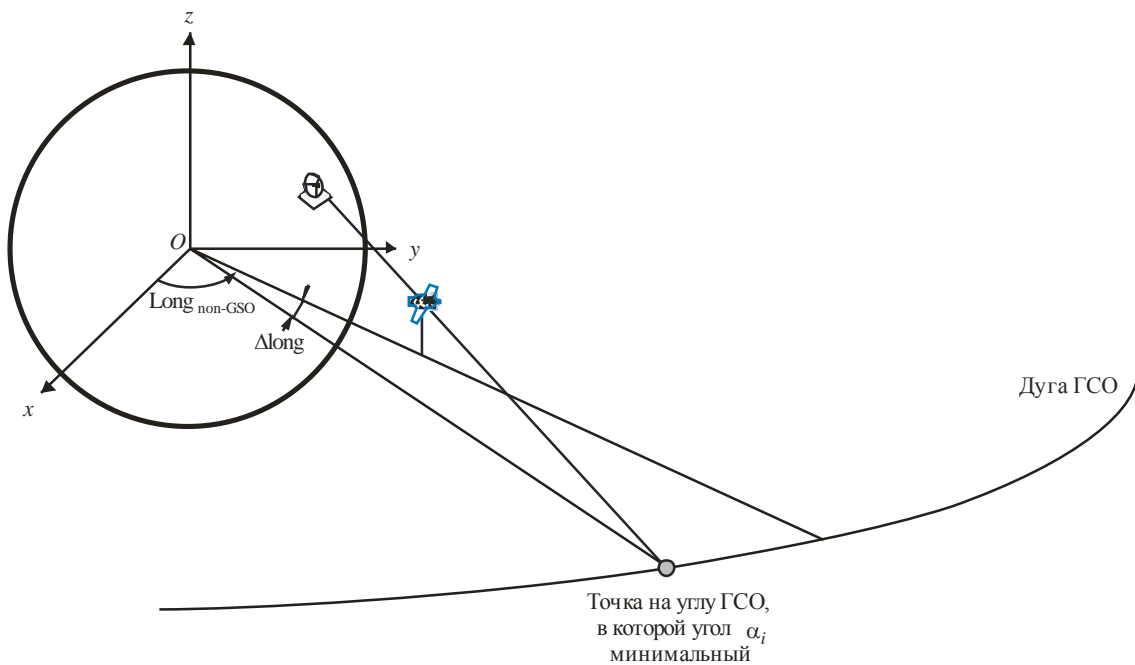
если $R_{z=0} = R_{geo}$, тогда угол α нулевой;

если $R_{z=0} < R_{geo}$, тогда угол α отрицательный.

Для испытательной точки, в которой взят угол α или X , можно рассчитать Δ longitude между подспутниковой точкой НГСО и точкой на дуге ГСО, где угол α (или X) будет минимальным, как показано на рисунке 49.

РИСУНОК 49

Определение Δ longitude



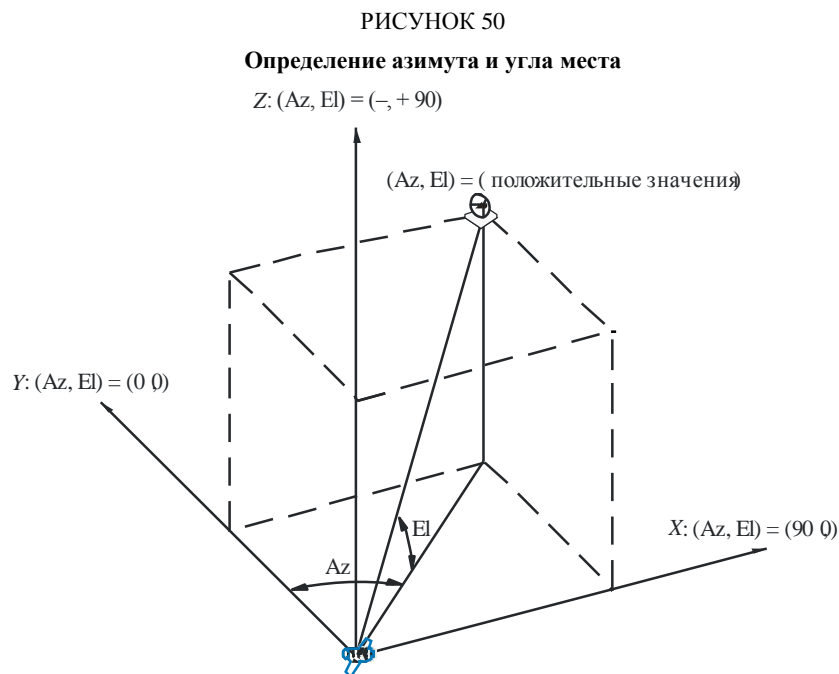
Следовательно:

$$\Delta\text{Long} = \text{LongAlpha} - \text{LongNGSO}.$$

В итерации α или X необходимо использовать испытательные точки, удовлетворяющие требованиям п. D.1.4.

6.4.5 Азимут и угол места спутника

На рисунке 50 показано определение азимутального угла и угла места, используемое для спутника НГСО.



S.1503-50

Следует отметить, что направления векторов X , Y , Z в декартовой системе координат на этом рисунке таковы:

- X : положительное в восточном направлении от спутника НГСО;
- Y : в направлении центра Земли от спутника НГСО;
- Z : положительное в северном направлении от спутника НГСО.

6.5 Диаграммы усиления

В этом разделе определяются диаграммы усиления, используемые для земных станций и спутников. Следует отметить, что во все формулы включено пиковое усиление, поэтому в случаях, когда требуется относительное усиление, значение пикового усиления нужно вычесть.

6.5.1 Диаграммы усиления земной станции ГСО

6.5.1.1 Диаграмма усиления земной станции ФСС

Подлежащая использованию диаграмма усиления земной станции ФСС приведена в Рекомендации МСЭ-R S.1428.

6.5.1.2 Диаграмма усиления земной станции РСС

Подлежащая использованию диаграмма усиления земной станции РСС приведена в Рекомендации МСЭ-R ВО.1443.

6.5.2 Диаграмма усиления спутника ГСО

Значения пикового усиления и ширины главного лепестка по половинной мощности, а также используемая эталонная диаграмма направленности антенны приведены в Статье 22 РР, основанной на Рекомендации МСЭ-R S.672.

В диапазоне 11–14 ГГц предполагается использовать пиковое усиление 32,4 дБи, ширину главного лепестка 4° и уровень первых боковых лепестков 20 дБ, а в диапазоне 20–30 ГГц предполагается использовать пиковое усиление 40,7 дБи, ширину главного лепестка 1,55° и уровень первых боковых лепестков 10 дБ.

7 Структура и формат результатов

7.1 Решение go/no-go ("проверка пройдена/не пройдена")

7.1.1 Общее описание процесса принятия решения

В процессе применения моделирования по времени создается функция распределения вероятностей (PDF) уровней п.п.м. Функция PDF отображает для каждого уровня п.п.м. количество временных шагов моделирования, в течение которых наблюдается этот уровень п.п.м., разделенное на сумму всех бинов. PDF преобразуется в кумулятивную функцию распределения (CDF), которая отображает для каждого уровня п.п.м. количество временных шагов моделирования, в течение которых этот уровень п.п.м. превышает, нормированное к общему количеству временных шагов моделирования.

При использовании аналитического метода непосредственно определяется функция PDF уровней п.п.м. Эта функция PDF отображает вероятность появления каждого уровня п.п.м. Значения вероятностей соответствуют процентам времени, когда данный уровень п.п.м. появляется в неопределенный интервал времени наблюдения. Эта функция PDF также может быть преобразована в CDF.

7.1.2 Вычисление функции CDF

Функция PDF уровней п.п.м. рассчитывается посредством процедуры, подробно описанной в п. D.5. Эта функция PDF преобразуется в функцию CDF, которая отображает для каждого уровня п.п.м. процент времени, в течение которого этот уровень п.п.м. превышает.

Для каждого уровня п.п.м. функция CDF вычисляется как:

$$CDF_i = 100 (1 - \text{SUM}(\text{PDF}_{\min}; \text{PDF}_i)),$$

где:

PDF_x: табличные данные PDF для уровня п.п.м. в X дБ, нормированные таким образом, чтобы общая сумма для всех PDF_x составляла 1.

7.1.3 Процедура сравнения

Следующим этапом является сравнение указанных в РР предельных уровней п.п.м. со значениями в таблице вероятностей.

Шаг 1. Выполните шаги 2–4 для каждого предела *i* в технических условиях.

Шаг 2. Введите из базы данных информацию об уровне/вероятности п.п.м. для пары (*J_i* и *P_i*).

Шаг 3. Если уровень *J_i* п.п.м. имеет более высокую точность, чем *S_B* (в настоящее время 0,1 дБ), то округлите *J_i* до меньшего значения с максимальной точностью 0,1 дБ.

Шаг 4. Из функции CDF определите вероятность *P_i* того, что уровень *J_i* п.п.м. был превышен, как указано в программном обеспечении.

Шаг 5. Если *P_i* < *P_t*, то записывается результат Pass ("проверка пройдена"): функция CDF соответствует этому пункту техусловий. Или же записывается результат Fail ("проверка не пройдена"): функция CDF не соответствует этому пункту техусловий.

Конечным этапом является сравнение максимального условия п.п.м., записанного во время прогона программного обеспечения, с предельным уровнем, указанным для 100% времени (если эти данные имеются).

Исходя из функции CDF определите максимальный уровень J_{\max} п.п.м., записанный во время прогона программного обеспечения. Сравните его с предельным уровнем J_{100} п.п.м., указанным для 100% времени. Если $J_{\max} < J_{100}$, то записывается результат Pass: функция CDF соответствует этому пункту техусловий. Если $J_{\max} \geq J_{100}$, записывается результат Fail: функция CDF не соответствует этому пункту техусловий.

7.1.4 Процедура принятия решения

Если результат Pass был записан для всех пределов в техусловиях, то в этом случае сеть НГСО соответствует техусловиям. Если был записан результат Fail, то тогда сеть НГСО не соответствует техусловиям.

7.2 Исходная информация для принятия решения

Необходимой исходной информацией являются:

- данные об уровнях п.п.м., полученные во время прогона программного обеспечения (включая диаметр антенны), и эталонная диаграмма направленности антенны;
- таблица пределов в техусловиях для различных диаметров антенны и эталонная диаграмма направленности антенны.

7.3 Формат для выходных данных

Выходные данные должны иметь следующий формат:

- заявление о результатах испытания;
- сводную таблицу;
- таблицу CDF (только для информации).

7.3.1 Заявление о результатах испытания на соответствие

В выходных данных должно быть общее заключение с оценкой (Pass или Fail), как определено в п. D.7.1.4.

7.3.2 Сводная таблица

В сводной таблице должны быть указаны следующие данные (см. таблицу 14).

ТАБЛИЦА 14
Сводная таблица

Пункт техусловий		Результат	Пункт моделирования
Уровень п.п.м.	Вероятность		Вероятность
J_1 дБ(Вт/(м ² · BW _{ref}))	P_1	Pass/fail	P_y
:	:	:	:
J_i дБ(Вт/(м ² · BW _{ref}))	P_i	Pass/fail	P_y

где:

J_i и P_i : значения уровней вероятности п.п.м. согласно техусловиям, взятые из базы;

Pass/fail: результаты испытаний;

P_y : значение вероятности из таблицы вероятностей.

7.3.3 Таблица вероятностей

Выходные данные должны содержать для целей информации вычисленную функцию CDF, которая использовалась в процессе принятия решения.

ЧАСТЬ Е

Проверка надежности выходных данных программного обеспечения**1 Оценка точности вычислений варианта программного обеспечения**

Эти испытания могли бы проводиться разработчиком программного обеспечения, а результаты предоставляться в БР вместе с конкретным вариантом программного обеспечения.

Должны оцениваться следующие функции программного обеспечения.

Проекция орбиты. Используя набор упрощенных параметров, которые приводят к определенному периоду повторения, выполните прогон программного обеспечения в течение требуемого интервала моделирования и проверьте фактические спутниковые векторы по отношению к расчетным значениям.

Углы смещения. Используя подходящие наборы мест расположения земных станций и спутников, проверьте фактические значения углов смещения луча по отношению к расчетным значениям. Наборы тестовых данных должны охватывать наиболее сложные тригонометрические ситуации – например, станции вокруг нулевой долготы и долготы 180°.

Временной шаг и продолжительность моделирования. Используя соответствующие наборы параметров сети НГСО, проверьте значения временного шага и продолжительности моделирования, определяемые программным обеспечением, по отношению к расчетным значениям. Эта проверка может быть выполнена, например, путем сравнения с результатами, полученными с помощью аналитического метода.

Формирование CDF. Используя наборы тестовых входных файлов с известными результатами CDF, проверьте программное обеспечение формирования CDF.

Процедура принятия решения go/no-go. Используя наборы тестовых входных файлов с известными результатами CDF, проверьте точность процедуры принятия решения go/no-go.

Если имеется несколько реализаций, то в этом случае для их оценки можно использовать более точный анализ, а их выходные данные могут сравниваться в целях обеспечения согласованности.

2 Оценка статистики э.п.п.м. (↓/↑), полученной БР

Это тесты, которые будут автоматически выполняться программным обеспечением, в виде части каждого прогона программы для подтверждения того, что во время прогона программы не обнаружено событий помех, соответствующих наихудшему случаю.

Уровень э.п.п.м. для 100% времени – уровень э.п.п.м.↓ для 100% времени, полученный в ходе прогона, следует сравнивать со значением, вычисленным исходя из анализа группировки НГСО. Полученное значение должно находиться в пределах $\pm 0,Х$ дБ от ожидаемого значения.

В случаях использования метода временного моделирования в подходящих случаях в качестве варианта для проверки надежности полученных статистических результатов может применяться программное обеспечение, основанное на аналитическом методе, который описывается в п. D.6.

3 Проверка масок п.п.м.

Маски п.п.м. являются входными данными для средств БР по проверке достоверности. Эти маски должны предоставляться в БР заявляющими администрациями вместе с применявшимся для ее расчета программным обеспечением, полным описанием и параметрами программного обеспечения. Информация, необходимая для расчета маски п.п.м., может быть предоставлена заинтересованным администрациям для использования в случае разногласий.

4 Повторное тестирование программного обеспечения БР после любых изменений или усовершенствований

Должен быть определен набор тестов для использования в любых случаях, когда программное обеспечение БР или его операционная среда были изменены или усовершенствованы. Такие тесты могут включать:

- a) все или некоторые из испытаний, определенных в п. Е.1, для первоначальной оценки точности вычислений при использовании конкретного варианта программного обеспечения;
- b) повторение характерного набора оценок реальных заявок на регистрацию систем НГСО и сравнение результатов, полученных для исходных и измененных систем программного обеспечения.

ЧАСТЬ F

Программное обеспечение для реализации настоящей Рекомендации

1 Операционная система

Прогон этого программного обеспечения должен проводиться на платформах Microsoft в программных средах Windows XP или более поздних версий.

2 Интерфейсы к существующим программному обеспечению и базам данных

БР осуществляет сбор всех входящих заявок, относящихся к космическим службам, в одну центральную базу данных для буквенно-цифровой информации (SNS) и в другую базу данных для графической информации (GIMS), такой как диаграммы направленности антенн и зоны обслуживания. Эти базы данных используются для публикации данных на DVD, в еженедельных циркулярах и его специальных секциях. Они также используются для предоставления входных данных в пакеты программ, выполняющих проверки согласно Приложению 8 РР и анализы уровней п.п.м. В целях выполнения исследований с применением этих различных модулей используется графический интерфейс для групповых вычислений (GIBC). Указанный метод служит гарантией того, что опубликованные данные являются также данными, используемыми в этих исследованиях. БР считает такой подход весьма важным как для заявляющей администрации, так и для администраций, службы которых могут быть затронуты вводом новой станции. Для своих регламентарных и технических исследований спутниковых сетей БР до сих пор использовало на регулярной основе программное обеспечение, разработанное для сетей ГСО. Впрочем в тех случаях, когда становится доступным программное обеспечение для расчета э.п.п.м., работающее в сетях НГСО, должен применяться тот же принцип. Это делается не только для удобства БР, но и для обеспечения согласованности и прозрачности по отношению к администрациям.

3 Руководство пользователя

Цель руководства пользователя – показать пользователю способы выполнения различных тестов для получения определенных результатов. Учитывая сложность этих тестов, должно быть дано подробное их описание.
