
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р
55897-
2013

СЕТИ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ
Зоны обслуживания
Методы расчета

Издание официальное



Москва
Стандартинформ
2014

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным образовательным бюджетным учреждением высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» и ООО «Научно-производственная компания «СвязьСервис».

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 480 «Связь»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 декабря 2013 г. № 2224-ст

4 В настоящем стандарте учтены основные нормативные положения следующих рекомендаций Международного союза электросвязи (МСЭ) (сектор стандартизации в области радиосвязи):

-Рекомендация МСЭ-Р Р.1546 (2009) Метод прогнозирования для трасс "точка-зона" для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц (Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz);

-Рекомендация МСЭ-Р Р.1406 (2007) Эффекты распространения радиоволн, касающиеся наземных сухопутной подвижной и радиовещательной служб в диапазонах ОВЧ и УВЧ (Propagation effects relating to terrestrial land mobile and broadcasting services in the VHF and UHF bands);

-Рекомендация МСЭ-Р Р.1812 (2007) Метод прогнозирования распространения сигнала на конкретной трассе для наземных служб "из пункта в зону" в диапазонах УВЧ и ОВЧ (A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the VHF and UHF bands);

-Рекомендация МСЭ-Р Р.1410 (2007) Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, требующиеся для проектирования наземных широкополосных систем радиодоступа, работающих в полосе частот от 3 до 60 ГГц (Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial broadband radio access systems operating in a frequency range from 3 to 60 GHz);

-Рекомендация МСЭ-Р Р.526 (2007) Распространение радиоволн за счет дифракции (Propagation by diffraction);

-Рекомендация МСЭ-Р Р.1238 (2009) Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования систем радиосвязи внутри помещений и локальных зонных радиосетей в частотном диапазоне 900 МГц – 100 ГГц (Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz);

-Рекомендация МСЭ-Р Р.676 (2007) Ослабление в атмосферных газах (Attenuation by atmospheric gases);

-Рекомендация МСЭ-Р Р.833 (2011) Ослабление сигналов растительностью (Attenuation in vegetation)

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ 3 1.0–2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок – в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (gost.ru)

© Стандартинформ, 2014

Настоящий стандарт не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

| | | |
|---|--|--|
| 1 | Область применения..... | |
| 2 | Нормативные ссылки..... | |
| 3 | Термины, определения, обозначения и сокращения | |
| 4 | Исходные данные и блок-схемы алгоритмов расчета..... | |
| 5 | Деление территории сети на фрагменты..... | |
| 6 | Построение зон радиопокрытия БС и АС..... | |
| 7 | Построение зон обслуживания БС и сети в целом..... | |
| 8 | Процедура расчета ослабления радиосигнала на трассе..... | |
| | Приложение А | Выражения для определения геодезических и |
| | (рекомендуемое) | геометрических характеристик объектов..... |
| | Библиография | |

СЕТИ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ**Зоны обслуживания****Методы расчета**

Radiocommunication networks.

Service zones.

Calculation methods

Дата введения — 2014-07-01**1 Область применения**

Настоящий стандарт распространяется на беспроводные сети подвижной и фиксированной связи (сети СПС и радиодоступа), работающие в полосах частот от 30 МГц до 10 ГГц.

Стандарт устанавливает методы расчета и построения территориальных зон, в которых абонентская станция сети может быть обслужена базовой станцией сети.

Методы расчета, установленные в настоящем стандарте, применяют на стадиях проектирования сетей подвижной радиосвязи.

Методы расчета основаны на применении рекомендаций МСЭ и учитывают топографические, климатические особенности территории, условия распространения радиоволн, технические характеристики оборудования.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12252-86 Радиостанции с угловой модуляцией сухопутной подвижной службы. Типы, основные параметры, технические требования и методы измерений

ГОСТ 24375-80 Радиосвязь. Термины и определения

ГОСТ Р 51794-2008 Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек

ГОСТ Р 52293-2004 Геоинформационное картографирование. Система электронных карт. Карты электронные топографические. Общие требования

ГОСТ Р 52440-2005 Модели местности цифровые. Общие требования

ГОСТ Р 53363-2009 Цифровые радиорелейные линии. Показатели качества. Методы расчета

П р и м е ч а н и е – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов в информационной системе общего пользования - на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячно издаваемого информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения, обозначения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применяют термины по ГОСТ 24375-80, ГОСТ 12252-86, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 сеть радиосвязи: Сеть электросвязи, предназначенная для обеспечения беспроводной связью абонентских станций и представляющая собой совокупность базовых станций, узлов коммутации и линий связи.

3.1.2 абонентская станция: Пользовательское оборудование, подключаемое к сети радиосвязи.

3.1.3 базовая станция: Средство электросвязи, которое размещается стационарно и обеспечивает соединение по радиочастотным каналам множества АС, находящихся в зоне ее обслуживания, с узлом коммутации сети беспроводной связи.

3.1.4 зона радиопокрытия БС: Совокупность фрагментов территории, для которых уровень радиосигнала, создаваемый БС на выходе антенно-фидерного тракта АС, превышает уровень чувствительности радиоприемника АС для 50 % времени.

3.1.5 зона радиопокрытия АС: Совокупность фрагментов территории, находясь на которых уровень радиосигнала, создаваемый АС на выходе антенно-фидерного тракта БС, превышает уровень чувствительности радиоприемника БС для 50 % времени.

3.1.6 зона обслуживания БС: Совокупность фрагментов территории, находясь на которых АС обслуживаются данной БС с заданным качеством.

3.1.7 зона обслуживания сети: Совокупность территорий, обслуживаемых всеми БС сети беспроводной связи.

3.1.8 элементарная площадка: Фрагмент территории заданного размера, на котором характеристики радиосигнала считаются постоянными.

3.2 Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения и сокращения:

- АС - абонентская станция;
- БС - базовая станция;
- ДН - диаграмма направленности (антенны);
- КУ - коэффициент усиления (антенны);
- ПРД - передатчик;
- ПРМ - приемник;
- СКО - среднеквадратическое отклонение;
- СПС - сухопутная подвижная служба;
- ЦММ - цифровая модель местности;
- ЭП - элементарная площадка;
- $\min(x, y)$ - функция, значение которой равно минимальному из двух значений x и y ;
- $\max(x, y)$ - функция, значение которой равно максимальному из двух значений x и y ;

4 Исходные данные и блок-схемы алгоритмов расчета

4.1 Технические характеристики БС

$f_{\text{ПРД}}$ - частота передатчика, МГц;

$f_{\text{ПРМ}}$ - частота приемника, МГц;

$P_{\text{ПРДБС}}$ - мощность передатчика, дБВт;

$G_{\text{максБС}}$ - максимальный коэффициент усиления антенны, дБи;

$L_{\text{ф.ПРДБС}}$ - потери в антенно-фидерном тракте передатчика, дБ;

$L_{\phi, \text{ПРМ БС}}$ - потери в антенно-фидерном тракте приемника, дБ;

$P_{\text{ПРМ БС}}$ - реальная чувствительность приемника, дБВт;

$h_{\text{БС}}$ - высота антенны над уровнем земли, м;

$az_{\text{БС}}$ - азимут направления основного излучения антенны, град;

$\Delta_{\text{БС}}$ - угол возвышения антенны, град;

Нормированные диаграммы направленности антенн в вертикальной и горизонтальной плоскостях $G_H(\varphi), G_V(\alpha)$.

4.2 Технические характеристики АС

$P_{\text{ПРДАС}}$ - мощность передатчика, дБВт;

$G_{\text{max АС}}$ - максимальный коэффициент усиления передающей антенны, дБи;

$L_{\phi, \text{ПРДАС}}$ - потери в антенно-фидерном тракте передатчика, дБ;

$L_{\phi, \text{ПРМАС}}$ - потери в антенно-фидерном тракте приемника, дБ;

$P_{\text{ПРМАС}}$ - реальная чувствительность приемника, дБВт;

$h_{\text{АС}}$ - высота антенны над уровнем земли, м;

Нормированные диаграммы направленности антенн в вертикальной и горизонтальной плоскостях (для стационарных АС с направленной антенной)

$g_H(\varphi), g_V(\alpha)$.

4.3 Топографическое описание зоны обслуживания

R_{max} - максимальная планируемая дальность связи, км;

$\text{Ш}_{\text{БС}j}, \text{Д}_{\text{БС}j}$ - широта и долгота j -ой БС, град ($j=1..N$);

$\begin{bmatrix} \text{Ш}_1 & \text{Ш}_2 & \dots & \text{Ш}_n \\ \text{Д}_1 & \text{Д}_2 & \dots & \text{Д}_n \end{bmatrix}$ - координаты вершин многоугольника (контура), град,

ограничивающего зону обслуживания сети;

as - длина стороны квадрата ЭП, м;

ЦММ на основе топографической карты местности масштаба 1:200000 или крупнее, содержащая следующие классы пространственных объектов:

- рельеф суши,
- населенные пункты,
- гидрография,
- растительный покров.

Примечания

1 “детальными” далее будем считать ЦММ, пространственные объекты населенных пунктов которых представлены в виде зданий и сооружений.

2 Координаты и ЦММ должны быть представлены в одной системе геодезических координат 1995 года (СК-95) или 1942 года (СК-42).

4.4 Блок-схема алгоритма построения зон обслуживания приведена на рисунке 4.1.

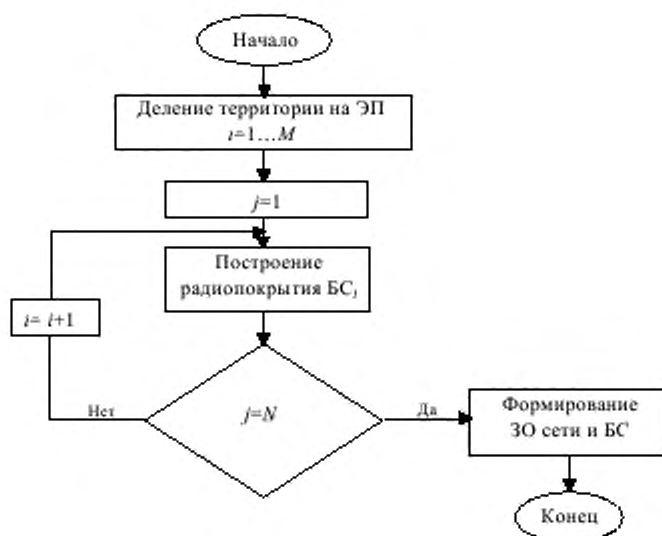


Рисунок 4.1 - Блок-схема алгоритма построения зон обслуживания

4.5 Блок-схема алгоритма построения радиопокрытия БС приведена на рисунке 4.2.

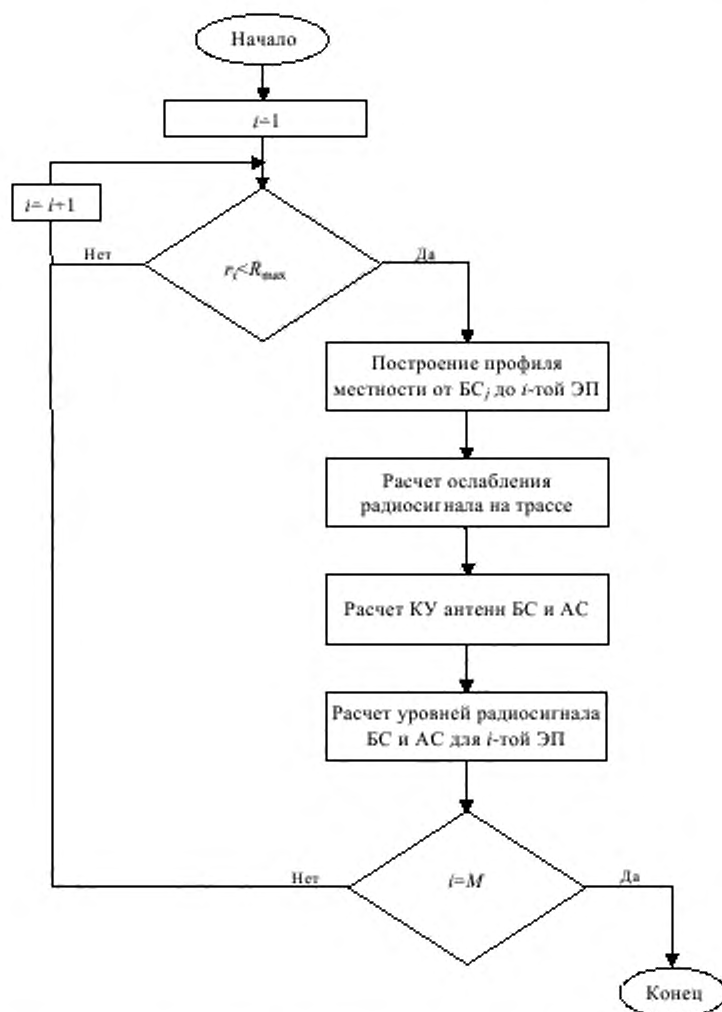


Рисунок 4.2 - Блок-схема алгоритма построения радиопокрытия БС

4.6 Блок-схема алгоритма расчета ослабления радиосигнала приведена на рисунке 4.3.

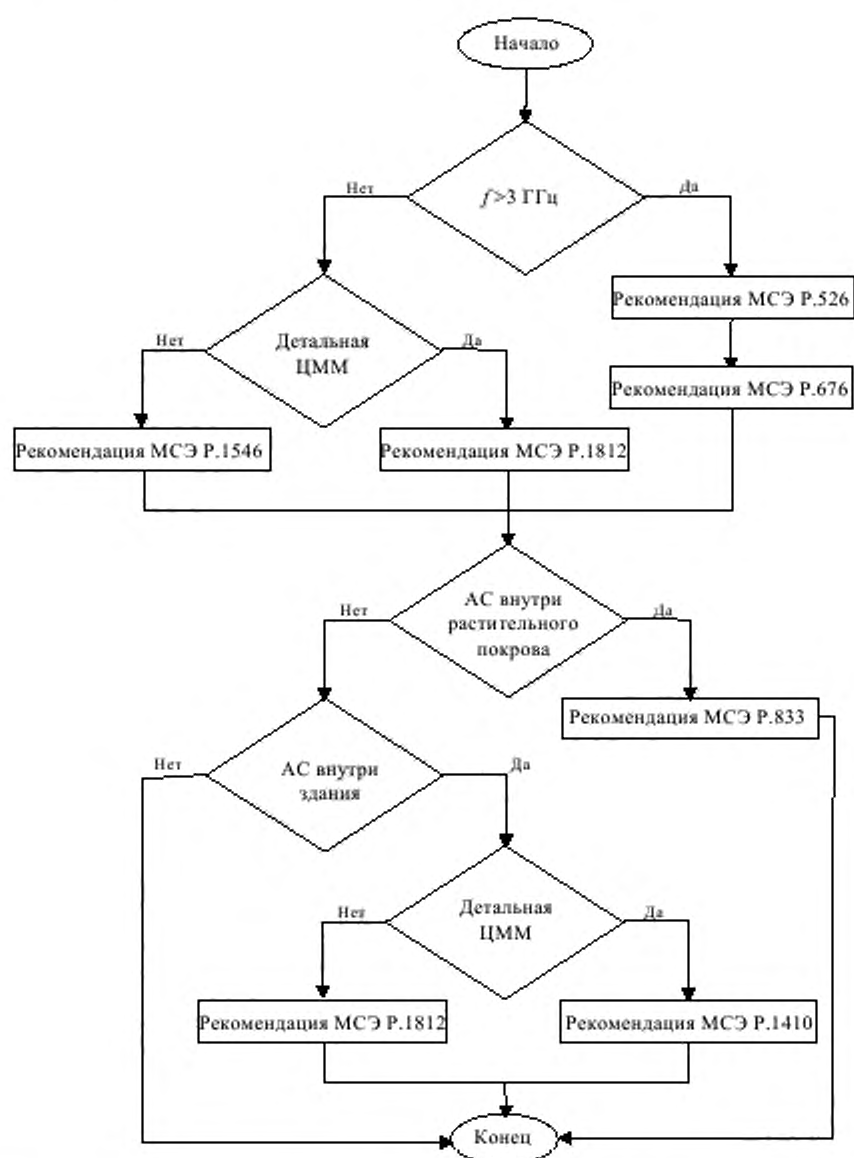


Рисунок 4.3 - Блок-схема алгоритма расчета ослабления радиосигнала на трассе

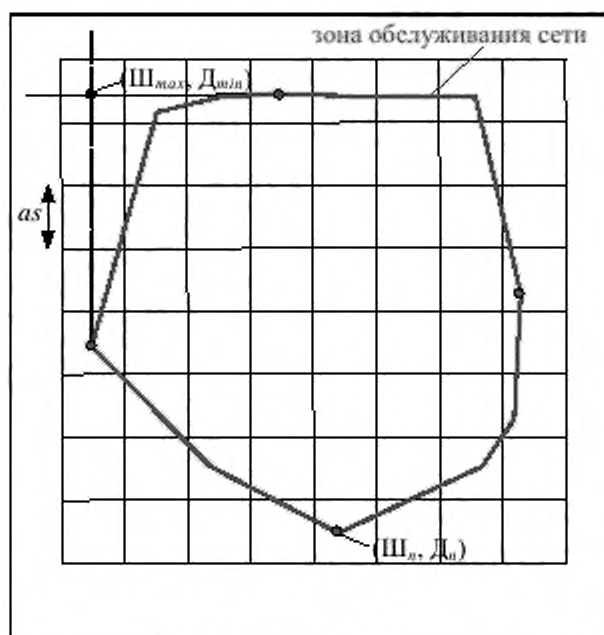
5 Деление территории сети на фрагменты

5.1 По формулам Приложения А определяют расстояние r_n между точками с координатами $(Ш_{min}, Д_{min})$ и $(Ш_{max}, Д_{max})$ и расстояние r_m между точками с координатами $(Ш_{min}, Д_{min})$ и $(Ш_{max}, Д_{min})$,

$$\text{где } Ш_{min} = \min_n (Ш_n), \quad Д_{min} = \min_n (Д_n), \quad Ш_{max} = \max_n (Ш_n), \quad Д_{max} = \max_n (Д_n). \quad (5.1)$$

5.2 Определяют число фрагментов территории (рисунок 5.1,а) по долготе и широте:

$$k_n = \text{trunk}(r_n / as) + 1, \quad k_m = \text{trunk}(r_m / as) + 1. \quad (5.2)$$



а

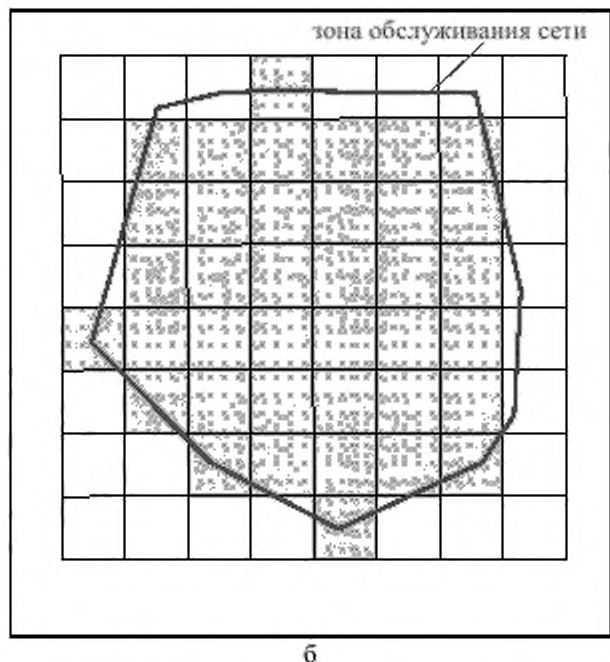


Рисунок 5.1 - Деление территории сети на фрагменты

5.3 По формулам (А.7)-(А.9) осуществляют переход от геодезических координат

узловых точек к плоским координатам $\begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_n \\ Y_1 & Y_2 & \dots & Y_n \end{bmatrix}$.

5.4 По формулам (А.7)-(А.9) осуществляют переход от геодезических координат

точки $\langle \text{Ш}_{\text{max}}, \text{Д}_{\text{min}} \rangle$ к плоским координатам $\langle x_1, y_1 \rangle$.

5.5 Определяют координаты центров фрагментов территории $\langle x_i, y_i \rangle$:

$$\begin{aligned} x_p &= x_1 - p \cdot a_x & \text{для } p = 1..k_x, \\ y_q &= y_1 + q \cdot a_y & \text{для } q = 1..k_y. \end{aligned} \quad (5.3)$$

5.6 Из всей совокупности фрагментов ($m' = k_x \times k_y$) в соответствии с (А.11)

выбирают только те M -фрагменты ($M \leq m'$), центры которых лежат внутри контура территории (рисунок 5.1,б).

5.7 По формулам (А.8)-(А.10) для центров полученных фрагментов осуществляют переход от плоских координат к геодезическим координатам $\langle \Pi_i, D_i \rangle$.

6 Построение зон радиопокрытия БС и АС

Результатом построения радиопокрытия каждой j -ой БС и соответствующих ей АС, размещаемых на i -ых фрагментах территории, является множество \mathbb{ZP}^j , с элементами \mathbb{ZP}_i^j . Каждый элемент, изображаемый в пространстве в виде квадрата, и имеющий координаты центра $\langle \Pi_i, D_i \rangle$, характеризуется информацией, содержащейся в полях-свойствах элемента (таблица 6.1).

Таблица 6.1 - Свойства элементов множества \mathbb{ZP}^j

| Свойство | Значение |
|---------------|--|
| ID_i^j | Порядковый номер элемента |
| $P_{bc_i}^j$ | Уровень сигнала, создаваемого ПРД БС на входе ПРМ АС, дБВт |
| $P_{ac_i}^j$ | Уровень сигнала, создаваемого ПРД АС на входе ПРМ БС, дБВт |
| L_i^j | Ослабление радиосигнала на трассе БС - АС, дБ |
| $Dist_i^j$ | Длина трассы БС - АС, км |
| $az_{12_i}^j$ | Азимут направления БС - АС, град |
| $az_{21_i}^j$ | Азимут направления АС - БС, град |
| $G_{bc_i}^j$ | КУ антенны БС в направлении на АС, дБ |
| $G_{ac_i}^j$ | КУ антенны АС в направлении на БС, дБ |

Для каждого i -го фрагмента территории и j -ой БС рассчитывают значения полей, приведенных в таблице 6.1. Расчет проводят в порядке, указанном ниже.

6.1 Используя информацию о координатах БС и ЭП рассчитывают значение расстояния r_j между ними, и в случае, если оно превышает значение R_{\max} , следует перейти к расчетам для другой ЭП. Значение R_{\max} , км, может быть рассчитано, в том числе и с помощью формулы

$$R_{\max} = 0,05 \cdot 10^{\min(Z_1, Z_2)}, \quad (6.1)$$

где

$$Z_1 = P_{\text{ПРДБС}} - P_{\text{ПРМАС}} + G_{\text{maxБС}} - L_{\text{ф.ПРДБС}} + G_{\text{maxАС}} - L_{\text{ф.ПРМАС}} - 32,45 - 20 \lg(f_{\text{ПРД}}),$$

$$Z_2 = P_{\text{ПРДАС}} - P_{\text{ПРМБС}} + G_{\text{maxАС}} - L_{\text{ф.ПРДАС}} + G_{\text{maxБС}} - L_{\text{ф.ПРМБС}} - 32,45 - 20 \lg(f_{\text{ПРМ}}).$$

6.2 Выполняют построение профиля трассы в порядке, приведенном в ГОСТ Р 53363, в ходе которого определяют длину трассы $Dist_i^j$ и высоты антенн БС и АС над уровнем моря, $h_{\text{БС}}^j$ и $h_{\text{АС}}^j$, м, соответственно.

6.3 Согласно алгоритма, приведенного на рисунке 4.3, и процедуры раздела 8 определяют ослабление радиосигнала на трассе L_i^j .

6.4 Определяют азимуты az_{12i}^j и az_{21i}^j по формуле (А.3).

6.5 Выполняют расчет коэффициентов усиления антенн, для этого:

6.5.1 Рассчитывают усиление антенны БС в следующем порядке:

6.5.1.1 Рассчитывают угловое отклонение от оси основного лепестка антенны БС в горизонтальной плоскости:

$$\varphi = \begin{cases} az_{12j}^j - az_{bc} & -180 \leq az_{12j}^j - az_{bc} \leq 180 \\ |az_{12j}^j - az_{bc}| - 360 & az_{12j}^j - az_{bc} > 180 \\ 360 - |az_{12j}^j - az_{bc}| & az_{12j}^j - az_{bc} < -180 \end{cases}, \text{град} \quad (6.2)$$

6.5.1.2 Рассчитывают угловое отклонение от оси основного лепестка передающей антенны БС в вертикальной плоскости по формуле

$$\alpha = \Delta_{bc} - \delta, \text{град}, \quad (6.3)$$

где

$$\delta = \begin{cases} \frac{180}{\pi} \cdot \frac{h_{bc}^j - h_{ac}^j}{Dist_i^j} & \text{если } Dist_i^j < 130,4 \sqrt{h_{bc}^j + h_{ac}^j}, \text{град} \\ 0 & \text{если } Dist_i^j \geq 130,4 \sqrt{h_{bc}^j + h_{ac}^j} \end{cases} \quad (6.4)$$

6.5.1.3 С помощью парциальных диаграмм направленности рассчитывают коэффициенты усиления $G_H(\varphi), G_V(\alpha)$.

6.5.1.4 Рассчитывают коэффициент усиления антенны БС, дБ, в заданном направлении по формуле

$$G_{bc_i}^j = G_{max_{bc}} + G_H(\varphi) + G_V(\alpha). \quad (6.5)$$

6.5.2 Аналогично п. 6.5.1 рассчитывают усиление антенны АС $G_{ac_i}^j$.

6.6 Рассчитывают уровни сигнала, создаваемые ПРД БС и АС на входах ПРМ АС и БС соответственно, дБВт:

$$\begin{aligned} P_{ac_i}^j &= P_{прдБС} + G_{bc_i}^j - L_{ф.прдБС} + G_{ac_i}^j - L_{ф.прмАС} - L_i^j, \\ P_{bc_i}^j &= P_{прдАС} + G_{ac_i}^j - L_{ф.прдАС} + G_{bc_i}^j - L_{ф.прмБС} - L_i^j. \end{aligned} \quad (6.6)$$

7 Построение зон обслуживания БС и сети в целом

Зона обслуживания каждой j -ой БС формируется по результатам анализа всей совокупности элементов множеств $\mathbf{ЗП}_i^j$ ($j=1..N, i=1..M$), в виде множества $\mathbf{ЗО}^j$.

Элементом множества является ЭП $\mathbf{ЗО}_i^j$, на которой j -ая БС создает наибольший

уровень сигнала, по сравнению с другими БС, и при этом одновременно выполняются следующие условия:

$$P_{bc_i}^j > P_{прмЛС}; P_{ac_i}^j > P_{прмБС}. \quad (7.1)$$

Зона обслуживания сети состоит из зон обслуживания всех БС сети, то есть является совокупностью всех множеств $ЗО^j$.

8 Процедура расчета ослабления радиосигнала на трассе

Расчет ослабления радиосигнала на трассе проводят в порядке, указанном ниже:

8.1 Если справедливо неравенство $f_{прд} > 3$ ГГц, то:

8.1.1 Выполняют расчет дифракционного ослабления радиосигнала в порядке, приведенном в ГОСТ Р 53363.

8.1.2 Выполняют расчет дополнительного ослабления радиосигнала в атмосферных газах в порядке, приведенном в ГОСТ Р 53363.

8.2 Если справедливо неравенство $f_{прд} \leq 3$ ГГц, то в зависимости от типа ЦММ, использованной при построении профиля местности, проводят расчет ослабления радиосигнала:

- по формулам, приведенным в [1], если ЦММ является детальной;

- по формулам, приведенным в [2], в ином случае.

8.3 Если в результате анализа профиля местности установлено, что один из терминалов погружен в растительный покров, проводят расчет дополнительного ослабления радиосигнала растительностью по формулам, приведенным в [3].

8.4 Если в результате анализа профиля местности установлено, что один из терминалов находится внутри объекта застройки, проводят расчет дополнительного ослабления радиосигнала, в зависимости от типа используемой ЦММ:

- с помощью погонного ослабления, значения которого приведены в [4], если ЦММ является детальной,

- с помощью приведенных в [1] табличных данных, в ином случае.

Приложение А (рекомендуемое)

Выражения для определения геодезических и геометрических характеристик объектов

а) Обратная геодезическая задача

Исходные данные:

- широта п. 1, $\tilde{\Pi}_1$, град;

- долгота п. 1, \tilde{D}_1 , град;

- широта п. 2, $\tilde{\Pi}_2$, град;

- долгота п. 2, \tilde{D}_2 , град.

Перевод угловых величин из градусной меры в радианы проводится согласно

выражению $\tilde{x} = \frac{\pi}{180}x$.

На основании перечисленных исходных данных рассчитывают:

1 промежуточные параметры

$$\begin{aligned}
 b &= \tilde{\Pi}_2 - \tilde{\Pi}_1, \quad l = \tilde{D}_2 - \tilde{D}_1, \quad B_m = \left(\tilde{\Pi}_2 + \tilde{\Pi}_1 \right) / 2 \\
 \eta_m^2 &= e'^2 \cos^2(B_m), \quad N_m = c / \sqrt{1 + \eta_m^2}, \quad M_m = c / \left(1 + \eta_m^2 \right) \\
 Q &= bM_m \left[1 - (e'^2 - 2\eta_m^2) \frac{b^2}{8} - (1 + \eta_m^2) \frac{l^2 \cos^2(B_m)}{12} - \frac{l^2 \sin^2(B_m)}{8} \right] \\
 P &= lN_m \cos(B_m) \left[1 + (1 - 9e'^2 + 8\eta_m^2) \frac{b^2}{24} - \frac{l^2 \sin^2(B_m)}{24} \right] \\
 \alpha'' &= l \sin(B_m) \left[1 + (3 + 2\eta_m^2) \frac{b^2}{24} + (1 + \eta_m^2) \frac{l^2 \cos^2(B_m)}{12} \right] \rho''
 \end{aligned}$$

где $e'^2 = 0,006738525415$, $c = 6399698,90178$, $\rho'' = 206264,806247096$.

2 длину трассы между п. 1 и п. 2

$$R = 10^{-3} \sqrt{Q^2 + P^2}, \text{ км.} \quad (\text{A.1})$$

3 азимут направления от п. 2 к п. 1 (от п. 1 к п. 2)

$$az_{21(12)} = \begin{cases} 180 + az & \text{если } az < 0 \\ 180 + az & \text{если } D_{1(2)} < D_{2(1)} \\ 180 & \text{если } (Ш_{1(2)} < Ш_{2(1)}) \vee (D_1 = D_2) \\ az & \text{иначе} \end{cases}, \text{ град} \quad (\text{A.2})$$

где $az = 180 / \pi \cdot \arctg(P/Q) \pm \alpha'' / 7200$. Знак плюс применяется для az_{21} , знак минус - для az_{12} .

б) Прямая геодезическая задача

Исходные данные:

- широта п. 1, $Ш_1$, град;
- долгота п. 1, D_1 , град;
- азимут направления из п. 1, az , град;
- расстояние δd , км, по поверхности Земли между п. 1 и точкой на поверхности

Земли вдоль азимута az , координаты которой необходимо вычислить.

На основании перечисленных исходных данных рассчитывают:

1 промежуточный параметр

$$s = 10^3 \cdot \delta d \cdot \rho'' / c.$$

2 поочередно для $i = 1..4$ параметры

$$V_i = \sqrt{1 + e'^2 \cos^2(\varphi_i)}, \Delta B_i = s V_i^3 \cos(\alpha_i), \Delta L_i = s V_i \frac{\sin(\alpha_i)}{\cos(\varphi_i)}, \Delta A_i = \Delta L_i \sin(\varphi_i),$$

где текущие переменные φ_i, α_i представлены формулами:

$$\varphi_1 = \tilde{Ш}_1, \varphi_2 = \tilde{Ш}_1 + 0.5 \frac{\Delta B_1}{\rho''}, \varphi_3 = \tilde{Ш}_1 + 0.25 \frac{\Delta B_1 + \Delta B_2}{\rho''}, \varphi_4 = \tilde{Ш}_1 + \frac{2\Delta B_3 - \Delta B_2}{\rho''}$$

$$\alpha_1 = a\tilde{z}, \alpha_2 = a\tilde{z} + 0.5 \frac{\Delta A_1}{\rho''}, \alpha_3 = a\tilde{z} + 0.25 \frac{\Delta A_1 + \Delta A_2}{\rho''}, \alpha_4 = a\tilde{z} + \frac{2\Delta A_3 - \Delta A_2}{\rho''}$$

3 смещения:

$$\Delta B = \langle B_1 + 4\Delta B_3 + \Delta B_4 \rangle 6$$

$$\Delta L = \langle L_1 + 4\Delta L_3 + \Delta L_4 \rangle 6$$

$$\Delta A = \langle A_1 + 4\Delta A_3 + \Delta A_4 \rangle 6$$

4 значения широты Ш_x и долготы Д_x искомой точки:

$$\text{Ш}_x = \text{Ш}_1 + \frac{\Delta B}{\rho''} \cdot \frac{180}{\pi} \text{град.}, \text{Д}_x = \text{Д}_1 + \frac{\Delta L}{\rho''} \cdot \frac{180}{\pi} \text{град.} \quad (\text{A.3})$$

5 азимут направления az_x из искомой точки на исходную:

$$az_x = \frac{180}{\pi} \begin{cases} a\tilde{z} + \frac{\Delta A}{\rho''} + \pi & \text{если } \left| \pi - 2a\tilde{z} - \frac{\Delta A}{\rho''} \right| < \left| 3\pi - 2a\tilde{z} - \frac{\Delta A}{\rho''} \right| \\ a\tilde{z} + \frac{\Delta A}{\rho''} - \pi & \text{если } \left| \pi - 2a\tilde{z} - \frac{\Delta A}{\rho''} \right| \geq \left| 3\pi - 2a\tilde{z} - \frac{\Delta A}{\rho''} \right| \end{cases} \text{град.} \quad (\text{A.4})$$

в) Переход от геодезических координат к плоским

Исходные данные:

- широта, Ш , град;

- долгота, Д , град;

- долгота опорного меридиана, Д_0 , град (например, долгота центра зоны охвата сети).

1 Рассчитывают разность долгот

$$\delta\text{Д} = \pi \cdot \langle \text{Д} - \text{Д}_0 \rangle 180, \text{рад.} \quad (\text{A.5})$$

2 Рассчитывают коэффициенты:

$$\begin{aligned}
 N &= 6,605 \sin^2(\tilde{\Pi}) + 107,155 \tilde{\sin}^2(\tilde{\Pi}) + 21346,142 \bar{\sin}^2(\tilde{\Pi}) + 6378245 \\
 a_0 &= 6,7032 \cos^2(\tilde{\Pi}) - 135,3277 \tilde{\cos}^2(\tilde{\Pi}) + 32140,4046 \\
 a_{24} &= 0,0000076 \cos^2(\tilde{\Pi}) + 0,0025269 \tilde{\cos}^2(\tilde{\Pi}) + 0,25 \bar{\cos}^2(\tilde{\Pi}) - 0,0416667 \\
 a_{26} &= 0,00562 \cos^2(\tilde{\Pi}) + 0,16358 \tilde{\cos}^2(\tilde{\Pi}) - 0,08333 \bar{\cos}^2(\tilde{\Pi}) + 0,00139 \\
 a_{28} &= 0,125 \cos^2(\tilde{\Pi}) - 0,104 \tilde{\cos}^2(\tilde{\Pi}) + 0,014 \bar{\cos}^2(\tilde{\Pi}) \\
 b_{13} &= 0,00112309 \cos^2(\tilde{\Pi}) + 0,33333333 \tilde{\cos}^2(\tilde{\Pi}) - 0,16666667 \\
 b_{15} &= 0,004043 \cos^2(\tilde{\Pi}) + 0,196743 \tilde{\cos}^2(\tilde{\Pi}) - 0,166667 \bar{\cos}^2(\tilde{\Pi}) + 0,008333 \\
 b_{17} &= 0,1429 \cos^2(\tilde{\Pi}) - 0,1667 \tilde{\cos}^2(\tilde{\Pi}) + 0,0361 \bar{\cos}^2(\tilde{\Pi}) - 0,0002
 \end{aligned}
 \tag{A.6}$$

3 Рассчитывают плоские координаты:

$$\begin{aligned}
 x &= 6367558,497 \tilde{\Pi} + 0,28 \delta D^2 - a_{26} \tilde{\delta} D^2 + a_{24} \bar{\delta} D^2 + 0,5 \bar{N} \delta D^2 - a_0 \bar{\cos}(\tilde{\Pi}) \sin(\tilde{\Pi}) \\
 y &= 0,17 \cdot \delta D^2 + b_{15} \tilde{\delta} D^2 + b_{13} \bar{\delta} D^2 + 1 \bar{N} \cdot \delta D \cdot \cos(\tilde{\Pi})
 \end{aligned}
 \tag{A.7}$$

г) Переход от плоских координат к геодезическим координатам

Исходные данные:

- широта, x , м;
- долгота, y , м;
- долгота опорного меридиана, D_0 , град.

1 Последовательно рассчитывают переменные:

$$\begin{aligned}
 \beta &= x/6367558,497 \\
 B &= 0,382 \cos^2(\beta) + 293609 \tilde{\cos}^2(\beta) + 50221747 \bar{\cos}^2(\beta) \cdot 10^{-10} \sin(\beta) \cos(\beta) + \beta \\
 N &= 6,605 \sin^2(B) + 107,155 \tilde{\sin}^2(B) + 21346,142 \bar{\sin}^2(B) + 6378245 \\
 z &= y/(N \cos(B))
 \end{aligned}
 \tag{A.8}$$

2 Рассчитывают коэффициенты:

$$\begin{aligned}
 A_{22} &= 0,003369263 \cos^2(B) + 0,5 \cos(B) \sin(B) \\
 A_{24} &= 0,0056154 - 0,0000151 \cos^2(B) \cos^2(B) + 0,1616128 \cos^2(B) + 0,25 \\
 A_{26} &= 0,00389 \cos^2(B) + 0,0431 \cos^2(B) - 0,00168 \cos^2(B) + 0,125 \\
 A_{28} &= 0,013 \cos^2(B) + 0,008 \cos^2(B) - 0,031 \cos^2(B) + 0,078 \\
 B_{13} &= 0,16666667 - 0,00112309 \cos^2(B) \cos^2(B) - 0,33333333 \\
 B_{15} &= 0,008783 - 0,000112 \cos^2(B) \cos^2(B) - 0,166667 \cos^2(B) + 0,2 \\
 B_{17} &= 0,1667 - 0,0361 \cos^2(B) \cos^2(B) - 0,1429
 \end{aligned}
 \tag{A.9}$$

3 Рассчитывают геодезические координаты (град):

$$\begin{aligned}
 \text{Ш} &= \frac{180}{\pi} \left(\beta + A_{28} \cdot z^2 - A_{26} \cdot z^2 + A_{24} \cdot z^2 - 1 \cdot A_{22} \cdot z^2 \right) \\
 \text{Д} &= \frac{180}{\pi} \left(\beta_{17} \cdot z^2 + B_{15} \cdot z^2 + B_{13} \cdot z^2 + 1 \cdot z + D_0 \right)
 \end{aligned}
 \tag{A.10}$$

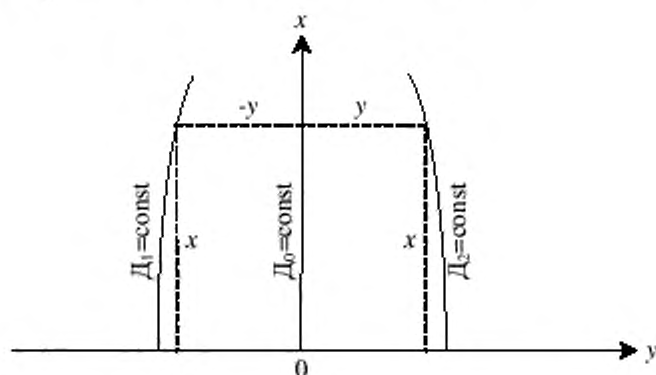


Рисунок А.1- Связь геодезических и плоских координат

д) Определение положения точки относительно многоугольника с p вершинами

Исходные данные:

- координаты точки, положение которой устанавливается $\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$,

- координаты вершин p -угольника, $\begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_p \\ Y_1 & Y_2 & \dots & Y_p \end{bmatrix}$

при этом вершины упорядочены, то есть последующая вершина соединяется с предыдущей, а последняя с первой.

Точка лежит внутри p -угольника если выполняется равенство

$$\sum_{n=1}^p \alpha_n \cdot A_n \in [0, 2\pi).
 \tag{A.11}$$

где

$$S_n = \begin{cases} \text{sign} \left[(X_{n+1} - X_n)(Y - Y_n) - (X_{n+1} - Y_n)(X - X_n) \right] & \text{если } n < p \\ \text{sign} \left[(X_1 - X_n)(Y - Y_n) - (X_1 - Y_n)(X - X_n) \right] & \text{если } n = p \end{cases}$$

$$A_n = \arccos \frac{a_n^2 + b_n^2 - c_n^2}{2a_n b_n},$$

$$a_n = \sqrt{(X - X_n)^2 + (Y - Y_n)^2},$$

$$b_n = \begin{cases} \sqrt{(X - X_{n+1})^2 + (Y - Y_{n+1})^2}, & \text{если } n < p \\ \sqrt{(X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2}, & \text{если } n = p \end{cases},$$

$$c_n = \begin{cases} \sqrt{(X_n - X_{n+1})^2 + (Y_n - Y_{n+1})^2}, & \text{если } n < p \\ \sqrt{(X_n - X_1)^2 + (Y_n - Y_1)^2}, & \text{если } n = p \end{cases}$$

Библиография

- [1] Рекомендация МСЭ-Р Р.1812 (2009) Метод прогнозирования распространения сигнала на конкретной трассе для наземных служб "из пункта в зону" в диапазонах УВЧ и ОВЧ
- [2] Рекомендация МСЭ-Р Р.1546 (2009) Метод прогнозирования для трасс "точка-зона" для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц
- [3] Рекомендация МСЭ-Р Р.833 (2011) Ослабление сигналов растительностью
- [4] Рекомендация МСЭ-Р Р.1410 (2007) Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, требующиеся для проектирования наземных широкополосных систем радиодоступа, работающих в полосе частот от 3 до 60 ГГц

УДК 621.396.43:006.354

ОКС 33.060.01

Э 02

Ключевые слова: сеть радиосвязи, базовая станция, зона обслуживания

Подписано в печать 30.04.2014. Формат 60x84^{1/8}.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»

123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru