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

gost.e-ecolog.ru

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 09 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 зоновых 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 Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (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 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 национального органа Российской Федерации по стандартизации

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Примечание – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт 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

Издание официальное

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 уровнь 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;

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

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

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

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

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

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

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

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

4.2 Технические характеристики АС

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

G_{maxAC} - максимальный коэффициент усиления передающей антенны, дБи;

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

$L_{ф.ПРМАС}$ - потери в антенно-фидерном тракте приемника, дБ;

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

h_{AC} - 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;

$Ш_{БСj}, Д_{БСj}$ - широта и долгота *j*-ой БС, град (*j*=1..*N*);

$\begin{bmatrix} Ш_1 & Ш_2 & \dots & Ш_n \\ Д_1 & Д_2 & \dots & Д_n \end{bmatrix}$ - 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.

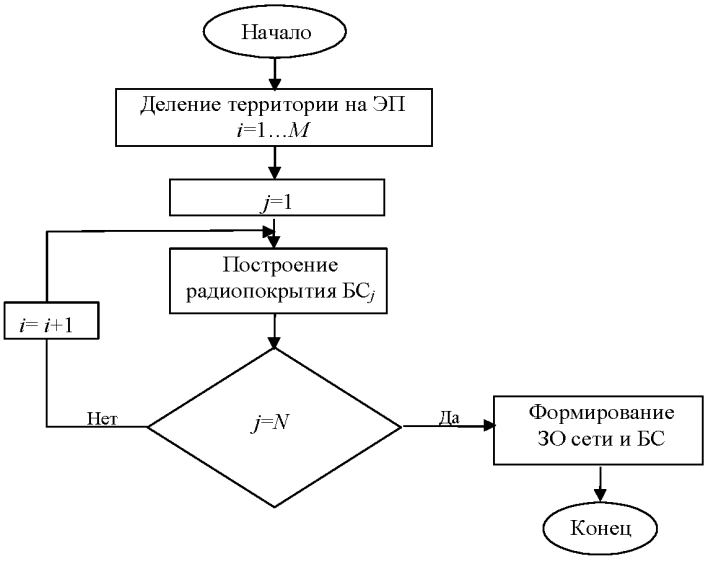


Рисунок 4.1 - Блок-схема алгоритма построения зон обслуживания

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

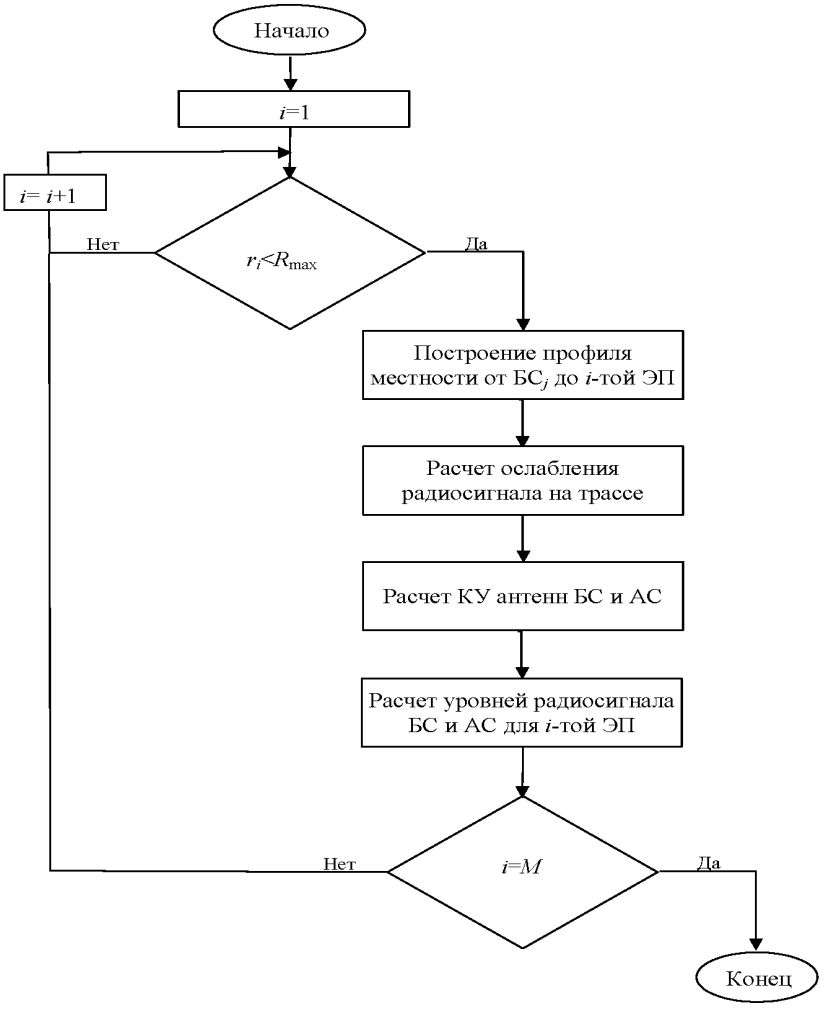


Рисунок 4.2 - Блок-схема алгоритма построения радиопокрытия БС

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

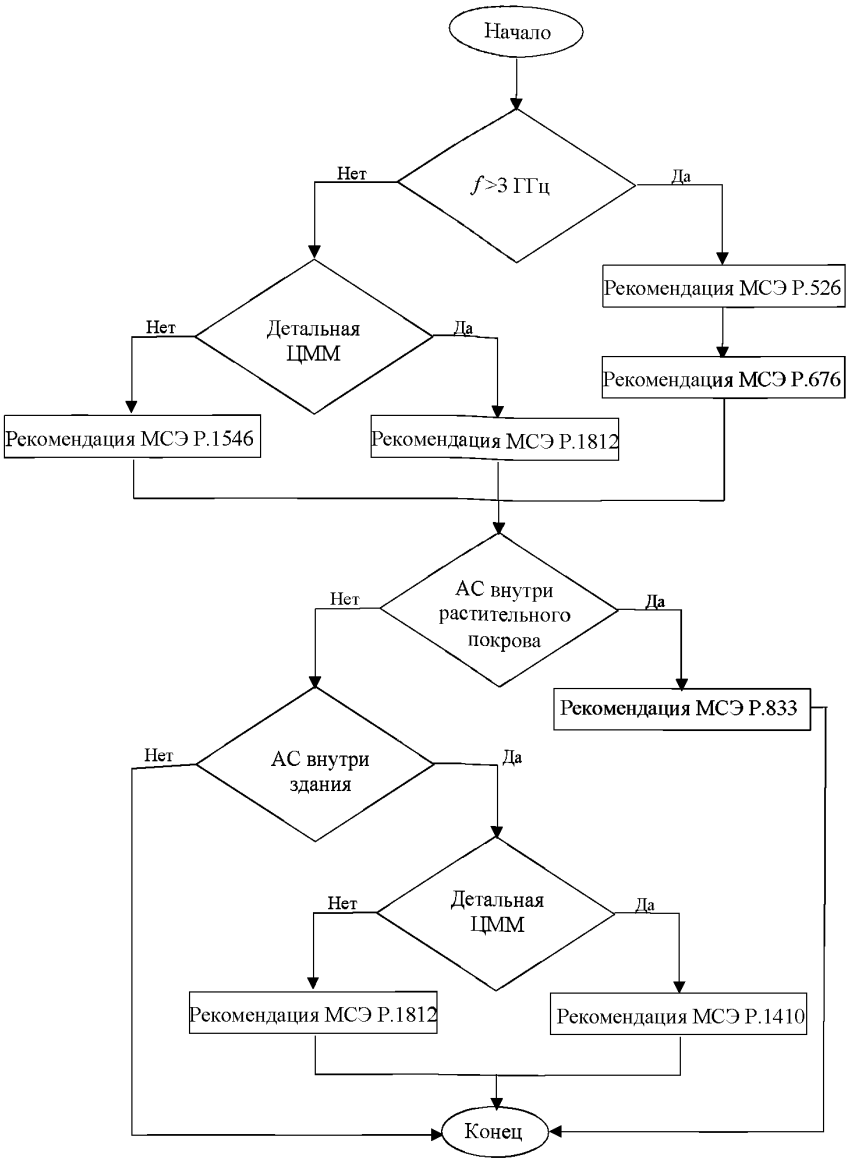


Рисунок 4.3 - Блок-схема алгоритма расчета ослабления радиосигнала на трассе

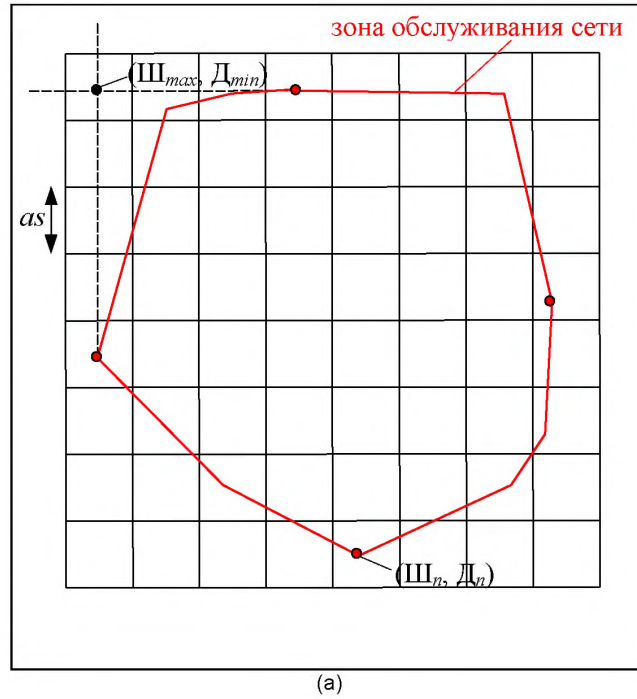
5 Деление территории сети на фрагменты

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

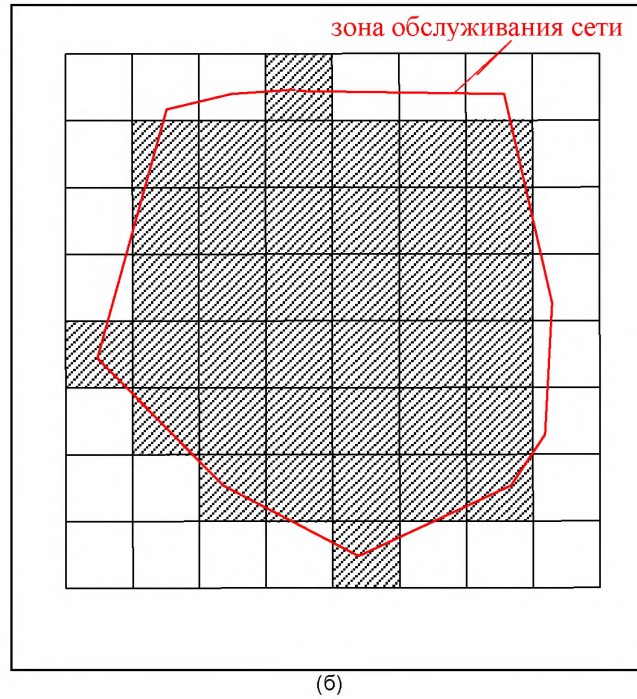
где $Ш_{min} = \min_n(Ш_n)$, $Д_{min} = \min_n(Д_n)$, $Ш_{max} = \max_n(Ш_n)$, $Д_{max} = \max_n(Д_n)$. (5.1)

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

$$k_д = trunk(r_д / as) + 1, \quad k_ш = trunk(r_ш / as) + 1. \quad (5.2)$$



(а)



(б)

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

$(Ш_{\max}, Д_{\min})$ к плоским координатам (x_1, y_1).

5.5 Определяют координаты центров фрагментов территории (x_i, y_j):

$$x_p = x_1 - p \cdot as \quad для \ p = 1..k_ш,$$
$$y_q = y_1 + q \cdot as \quad для \ q = 1..k_д. \qquad (5.3)$$

5.6 Из всей совокупности фрагментов ($m' = k_д \times k_ш$) в соответствии с (А.11) выбирают только те M -фрагменты ($M \le m'$), 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 $(Ш_i, Д_i)$.

6 Построение зон радиопокрытия БС и АС

Результатом построения радиопокрытия каждой *j*-ой БС и соотвествующих ей АС, размещаемых на *i*-ых фрагментах территории, является множество $ЗП^j$, с элементами $ЗП_i^j$. Каждый элемент, изображаемый в пространстве в виде квадрата, и имеющий координаты центра $(Ш_i, Д_i)$, характеризуется информацией, содержащейся в полях-свойствах элемента (таблица 6.1).

Таблица 6.1 - Свойства элементов множества $ЗП^j$

Свойство	Значение
ID_i^j	Порядковый номер элемента
$Pбс_i^j$	Уровень сигнала, создаваемого ПРД БС на входе ПРМ АС, дБВт
$Pас_i^j$	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
$Gбс_i^j$	КУ антенны БС в направлении на АС, дБ
$Gас_i^j$	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_i 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

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

где

$$Z_1 = P_{ПРД\ БС} - P_{ПРМ\ АС} + G_{max\ БС} - L_{ф.ПРД\ БС} + G_{max\ АС} - L_{ф.ПРМ\ АС} - 32{,}45 - 20\lg(f_{ПРД}),$$
$$Z_2 = P_{ПРД\ АС} - P_{ПРМ\ БС} + G_{max\ АС} - L_{ф.ПРД\ АС} + G_{max\ БС} - L_{ф.ПРМ\ БС} - 32{,}45 - 20\lg(f_{ПРМ}).$$

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, $h_{БС}'$ и $h_{АС}'$, 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 $az_{12_i}^{\ j}$ и $az_{21_i}^{\ j}$ по формуле (А.3).

6.5 Выполняют расчет коэффицентов 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:

$$\varphi = \begin{cases} \mathrm{az}_{12_i}^{\mathrm{j}} - \mathrm{az}_{БС} & -180 \le \mathrm{az}_{12_i}^{\mathrm{j}} - \mathrm{az}_{БС} \le 180 \\ \left|\mathrm{az}_{12_i}^{\mathrm{j}} - \mathrm{az}_{БС}\right| - 360 & \mathrm{az}_{12_i}^{\mathrm{j}} - \mathrm{az}_{БС} > 180 \\ 360 - \left|\mathrm{az}_{12_i}^{\mathrm{j}} - \mathrm{az}_{БС}\right| & \mathrm{az}_{12_i}^{\mathrm{j}} - \mathrm{az}_{БС} < -180 \end{cases}, \text{ град} \qquad (6.2)$$

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

$$\alpha = \Delta_{БС} - \delta, \text{ град}, \qquad (6.3)$$

где

$$\delta = \begin{cases} \dfrac{180}{\pi} \cdot \dfrac{(\mathrm{h}_{БС}' - \mathrm{h}_{АС}')}{\mathrm{Dist}_{\mathrm{i}}^{\mathrm{j}}} & \text{если } \mathrm{Dist}_{\mathrm{i}}^{\mathrm{j}} < 130{,}4\left(\sqrt{\mathrm{h}_{БС}'} + \sqrt{\mathrm{h}_{АС}'}\right) \\ 0 & \text{если } \mathrm{Dist}_{\mathrm{i}}^{\mathrm{j}} \ge 130{,}4\left(\sqrt{\mathrm{h}_{БС}'} + \sqrt{\mathrm{h}_{АС}'}\right) \end{cases}, \text{ град} \qquad (6.4)$$

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

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

$$\mathrm{G}бc_{\mathrm{i}}^{\mathrm{j}} = \mathrm{G}_{\max БС} + \mathrm{G}_{\mathrm{H}}(\varphi) + \mathrm{G}_{\mathrm{V}}(\alpha). \qquad (6.5)$$

6.5.2 Аналогично п. 6.5.1 рассчитывают усиление антенны АС $G\mathrm{ac}_i^j$.

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

$$\begin{aligned} \mathrm{P}ac_{\mathrm{i}}^{\mathrm{j}} &= \mathrm{P}_{ПРД\,БС} + \mathrm{G}бc_{\mathrm{i}}^{\mathrm{j}} - \mathrm{L}_{ф.ПРД\,БС} + \mathrm{G}ac_{\mathrm{i}}^{\mathrm{j}} - \mathrm{L}_{ф.ПРМ\,АС} - \mathrm{L}_{\mathrm{i}}^{\mathrm{j}}, \\ \mathrm{P}бc_{\mathrm{i}}^{\mathrm{j}} &= \mathrm{P}_{ПРД\,АС} + \mathrm{G}ac_{\mathrm{i}}^{\mathrm{j}} - \mathrm{L}_{ф.ПРД\,АС} + \mathrm{G}бc_{\mathrm{i}}^{\mathrm{j}} - \mathrm{L}_{ф.ПРМ\,БС} - \mathrm{L}_{\mathrm{i}}^{\mathrm{j}}. \end{aligned} \qquad (6.6)$$

7 Построение зон обслуживания БС и сети в целом

Зона обслуживания каждой *j*-ой БС формируется по результатам анализа всей совокупности элементов множеств $\mathbf{ЗП}_{\mathrm{i}}^{\mathrm{j}}$ (*j*=1..*N, i*=1..*M*), в виде множества $\mathbf{ЗО}^{\mathrm{j}}$. Элементом множества является ЭП $\mathbf{ЗО}_{\mathrm{i}}^{\mathrm{j}}$, на которой *j*-ая БС создает наибольший уровень сигнала, по сравнению с другими БС, и при этом одновременно выполняются следующие условия:

$$\mathrm{P}бc_{\mathrm{i}}^{\mathrm{j}} > \mathrm{P}_{ПРМ\,АС};\ \mathrm{P}ac_{\mathrm{i}}^{\mathrm{j}} > \mathrm{P}_{ПРМ\,БС}. \qquad (7.1)$$

Зона обслуживания сети состоит из зон обслуживания всех БС сети, то есть является совокупностью всех множеств $\mathbf{ЗО}^{\mathrm{j}}$.

8 Процедура расчета ослабления радиосигнала на трассе

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

8.1 Если справедливо неравенство $f_{\mathrm{ПРД}} > 3\ \mathrm{ГГц}$, 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 $f_{\text{ПРД}} \leq 3\ \text{ГГц}$, то в зависмости 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, $Ш_1$, град;
- долгота п. 1, $Д_1$, град;
- широта п. 2, $Ш_2$, град;
- долгота п. 2, $Д_2$, 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

$$b = \tilde{Ш}_2 - \tilde{Ш}_1,\ l = \tilde{Д}_2 - \tilde{Д}_1,\ B_m = \left(\tilde{Ш}_2 + \tilde{Ш}_1\right)/2$$

$$\eta_m^2 = e'^2 \cos^2(B_m),\ N_m = c/\sqrt{1+\eta_m^2},\ M_m = c/\left(1+\eta_m^2\right)$$

$$Q = bM_m\left[1-(e'^2-2\eta_m^2)\frac{b^2}{8}-(1+\eta_m^2)\frac{l^2\cos^2(B_m)}{12}-\frac{l^2\sin^2(B_m)}{8}\right]$$

$$P = lN_m\cos(B_m)\left[1+(1-9e'^2+8\eta_m^2)\frac{b^2}{24}-\frac{l^2\sin^2(B_m)}{24}\right]$$

$$\alpha'' = l\sin(B_m)\left[1+(3+2\eta_m^2)\frac{b^2}{24}+(1+\eta_m^2)\frac{l^2\cos^2(B_m)}{12}\right]\rho''$$

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

2 длину трассы между п. 1 и п. 2

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

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

$$az_{21(12)} = \begin{cases} 180+az & если\ az<0 \\ 180+az & если\ Д_{1(2)} < Д_{2(1)} \\ 180 & если\ (Ш_{1(2)} < Ш_{2(1)}) \vee (Д_1 = Д_2) \\ az & иначе \end{cases},\ \text{град} \qquad (А.2)$$

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, $Д_1$, 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

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

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:

$$\Delta B = (\Delta B_1 + 4\Delta B_3 + \Delta B_4)/6$$
$$\Delta L = (\Delta L_1 + 4\Delta L_3 + \Delta L_4)/6$$
$$\Delta A = (\Delta A_1 + 4\Delta A_3 + \Delta A_4)/6$$

4 значения широты $Ш_x$ и долготы $Д_x$ искомой точки:

$$Ш_x = Ш_1 + \frac{\Delta B}{\rho''}\cdot\frac{180}{\pi}\ град,\ Д_x = Д_1 + \frac{\Delta L}{\rho''}\cdot\frac{180}{\pi}\ град \qquad (A.3)$$

5 азимут направления az_x из искомой точки на исходную:

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

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

$$\delta Д = \pi\cdot(Д - Д_0)/180,\ рад. \qquad (A.5)$$

2 Рассчитывают коэффициенты:

$$\begin{aligned}
N &= \left[(0{,}605\sin^2(\tilde{Ш}) + 107{,}155)\sin^2(\tilde{Ш}) + 21346142\right]\sin^2(\tilde{Ш}) + 6378245 \\
a_0 &= (0{,}7032\cos^2(\tilde{Ш}) - 135{,}3277)\cos^2(\tilde{Ш}) + 32140{,}4046 \\
a_{24} &= \left[(0{,}000007\cos^2(\tilde{Ш}) + 0{,}0025269)\cos^2(\tilde{Ш}) + 0{,}25\right]\cos^2(\tilde{Ш}) - 0{,}0416667 \\
a_{26} &= \left[(0{,}00562\cos^2(\tilde{Ш}) + 0{,}16358)\cos^2(\tilde{Ш}) - 0{,}08333\right]\cos^2(\tilde{Ш}) + 0{,}00139 \\
a_{28} &= \left[(0{,}125\cos^2(\tilde{Ш}) - 0{,}104)\cos^2(\tilde{Ш}) + 0{,}014\right]\cos^2(\tilde{Ш}) \\
b_{13} &= (0{,}00112302\cos^2(\tilde{Ш}) + 0{,}3333333)\cos^2(\tilde{Ш}) - 0{,}16666667 \\
b_{15} &= \left[(0{,}004043\cos^2(\tilde{Ш}) + 0{,}196743)\cos^2(\tilde{Ш}) - 0{,}166667\right]\cos^2(\tilde{Ш}) + 0{,}008333 \\
b_{17} &= \left[(0{,}1429\cos^2(\tilde{Ш}) - 0{,}1667)\cos^2(\tilde{Ш}) + 0{,}0361\right]\cos^2(\tilde{Ш}) - 0{,}0002
\end{aligned} \qquad (A.6)$$

3 Рассчитывают плоские координаты:

$$\begin{aligned}
x &= 6367558497\tilde{Ш} + \left[\left[(a_{28}\delta Д^2 - a_{26})\delta Д^2 + a_{24}\right]\delta Д^2 + 0.5\right]N\delta Д^2 - a_0\cos(\tilde{Ш})\sin(\tilde{Ш}) \\
y &= \left[\left[(b_{17}\cdot\delta Д^2 + b_{15})\delta Д^2 + b_{13}\right]\delta Д^2 + 1\right]N\cdot\delta Д\cdot\cos(\tilde{Ш})
\end{aligned} \qquad (A.7)$$

г) Переход от плоских координат к геодезическим координатам

Исходные данные:

- широта, x, м;
- долгота, y, м;
- долгота опорного меридиана, $Д_0$, град.

1 Последовательно рассчитывают переменные:

$$\begin{aligned}
\beta &= x/6367558497 \\
B &= \left[(2382\cos^2(\beta) + 293609)\cos^2(\beta) + 50221747\right]\cdot 10^{-10}\sin(\beta)\cos(\beta) + \beta \\
N &= \left[(0{,}605\sin^2(B) + 107{,}155)\sin^2(B) + 21346142\right]\sin^2(B) + 6378245 \\
z &= y/(N\cos(B))
\end{aligned} \qquad (A.8)$$

2 Рассчитывают коэффициенты:

$$
\begin{aligned}
A_{22} &= \left(0{,}00336926\cos^2(B) + 0.5\right)\cos(B)\sin(B)\\
A_{24} &= \left[\left(0{,}0056154 - 0{,}000015\cos^2(B)\right)\cos^2(B) + 0{,}161612\right]\cos^2(B) + 0{,}25\\
A_{26} &= \left[\left(0{,}00389\cos^2(B) + 0{,}0431\right)\cos^2(B) - 0{,}00168\right]\cos^2(B) + 0{,}125\\
A_{28} &= \left[\left(0{,}013\cos^2(B) + 0{,}008\right)\cos^2(B) - 0{,}031\right]\cos^2(B) + 0{,}078\\
B_{13} &= \left(0{,}16666667 - 0{,}0011230\cos^2(B)\right)\cos^2(B) - 0{,}33333333\\
B_{15} &= \left[\left(0{,}008783 - 0{,}000112\cos^2(B)\right)\cos^2(B) - 0{,}166667\right]\cos^2(B) + 0{,}2\\
B_{17} &= \left(0{,}1667 - 0{,}0361\cos^2(B)\right)\cos^2(B) - 0{,}1429
\end{aligned}
\qquad (A.9)
$$

3 Рассчитывают геодезические координаты (град):

$$
\begin{aligned}
Ш &= \frac{180}{\pi}\left(B + \left[\left[\left(A_{28}\cdot z^2 - A_{26}\right)\cdot z^2 + A_{24}\right]\cdot z^2 - 1\right]A_{22}\cdot z^2\right)\\
Д &= \frac{180}{\pi}\left[\left[\left(B_{17}\cdot z^2 + B_{15}\right)\cdot z^2 + B_{13}\right]\cdot z^2 + 1\right]\cdot z + Д_0
\end{aligned}
\qquad (A.10)
$$

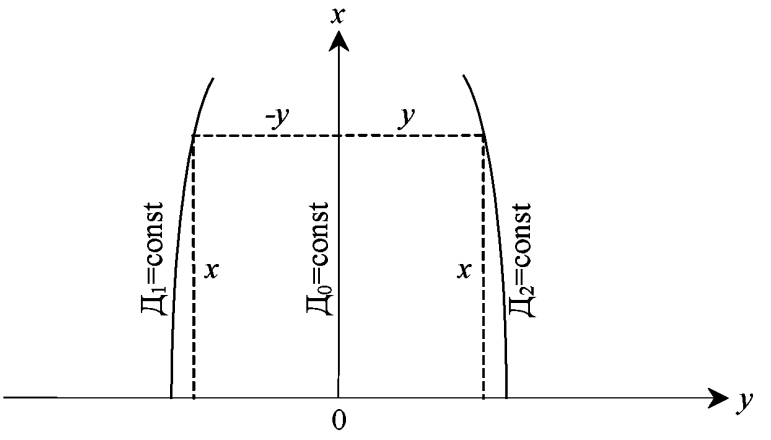


Рисунок А.1- Связь геодезических и плоских координат

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

$$\sum_{n=1}^{p}\left\{S_n\cdot A_n\right\} = 2\pi\,. \qquad (A.11)$$

где

$$S_n = \begin{cases} sign\left[\left(X_{n+1} - X_n\right)\left(y - Y_n\right) - \left(Y_{n+1} - Y_n\right)\left(x - X_n\right)\right], & если\ n < p \\ sign\left[\left(X_1 - X_n\right)\left(y - Y_n\right) - \left(Y_1 - Y_n\right)\left(x - X_n\right)\right], & если\ n = p \end{cases}.$$

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

$$a_n = \sqrt{\left(x - X_n\right)^2 + \left(y - Y_n\right)^2},$$

$$b_n = \begin{cases} \sqrt{\left(x - X_{n+1}\right)^2 + \left(y - Y_{n+1}\right)^2}, & если\ n < p \\ \sqrt{\left(x - X_1\right)^2 + \left(y - Y_1\right)^2}, & если\ n = p \end{cases},$$

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

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

Ключевые слова: сеть радиосвязи, базовая станция, зона обслуживания

Подписано в печать 01.08.2014. Формат 60x84 1/8.
Усл. печ. л. 1,86. Тираж 50 экз. Зак. 852.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»

123995 Москва, Гранатный пер., 4.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru