

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R S.1713-1

Методика расчета минимального углового разноса на поверхности Земли между негеостационарным спутником ФСС типа ВОО на "активной" дуге и геостационарным спутником

(Вопрос МСЭ-R 241/4)

(2005-2007)

Сфера применения

Настоящая Рекомендация содержит методику расчета минимального углового разноса где бы то ни было на поверхности Земли между спутником на "активной" дуге высокой околоземной орбиты (ВОО) и:

- a) всеми "видимыми" участками на дуге ГСО;
- b) *конкретным* спутником ГСО.

Первая методика (см. Приложение 3) полезна для определения того, укладывается ли система ВОО в пределы э.п.п.м. на полосах частот, в отношении которых применяются положения Статьи 22 Регламента радиосвязи, касающиеся пределов э.п.п.м. Вторая методика (см. Приложение 5) представляется полезной для оценки уровня помех между *конкретной* сетью ГСО и спутником ФСС на ВОО.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что в подавляющем большинстве проектов спутниковых систем ВОО апогей каждого спутника наступает в точке самой высокой широты его орбиты и каждый спутник осуществляет передачу только тогда, когда он находится в пределах "активной" дуги вокруг апогея;
- b) что ключевым параметром для определения наихудшего случая помех между системой ВОО и системой ГСО является минимальный угловой разнос, при котором активный спутник ВОО виден с любой земной станции, работающей со спутником ГСО;
- c) что угол, образуемый на поверхности Земли между спутником ВОО и точкой на ГСО, зависит от широты и долготы этой точки на поверхности Земли. Таким образом, угловой разнос на земной станции в сети ГСО между спутником, на который она работает, и спутником ВОО зависит от широты и долготы этой земной станции;
- d) что определение минимального углового разноса между системой ВОО и сетью ГСО содействовало бы быстрой предварительной оценке возможности для системы ВОО совместно использовать полосу частот с системами ГСО;
- e) что в полосах частот, к которым применяются пределы э.п.п.м., содержащиеся в Статье 22 РР, негеостационарные спутниковые системы, включая спутниковые системы ВОО, обязаны удовлетворять пределам э.п.п.м. в любом месте на поверхности Земли, принимая во внимание линии "вниз" с каждого видимого участка дуги ГСО (независимо от того, расположен ли в настоящее время спутник ГСО на долготе с наихудшими параметрами);
- f) что для систем ГСО, описанных в пункте а) раздела *учитывая*, функционирующих в полосах частот, к которым применяются пределы э.п.п.м., содержащиеся в Статье 22 РР, максимальный уровень э.п.п.м. соответствует минимальному угловому разносу на поверхности Земли между спутником ВОО на его "активной" дуге и долготой с наихудшими параметрами ГСО и возникает в тех случаях, когда спутник ВОО находится в начале или в конце своей "активной" дуги (например, на самой низкой точке долготы "активной" дуги);

g) что в полосах частот, к которым не применяются пределы э.п.п.м., содержащиеся в Статье 22 РР, для совместного использования частот системой ВОО и конкретной сетью ГСО, как правило, требуется расчет минимального углового разноса на поверхности Земли между спутником ВОО и расположением конкретного спутника ГСО;

h) что для систем ВОО, описанных в пункте а) раздела *учитывая*, результаты расчета, упомянутого в пункте g) раздела *учитывая*, дают минимальный угловой разнос на поверхности Земли между спутником ВОО на его "активной" дуге и конкретным спутником ГСО, что не всегда происходит тогда, когда спутник ВОО находится в начале или в конце своей "активной" дуги,

рекомендует,

1 что методику, описанную в Приложении 1, можно использовать для расчета углового разноса, при котором данный спутник ВОО на своей "активной" дуге "виден" с данной земной станцией, работающей с данным спутником ГСО, а затем для расчета минимального углового разноса на поверхности Земли, принимая во внимание возможное расположение всех земных станций и все возможные показатели долготы спутника ГСО;

2 что Приложение 2 может быть использовано для определения повышения шумовой температуры в линии ГСО вследствие помех от спутника ВОО;

3 что методика, описанная в Приложении 5, может быть использована для расчета минимального углового разноса, при котором спутник ВОО на своей "активной" дуге "виден" с данной земной станцией, работающей с конкретным спутником ГСО.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В Приложении 3 итерационно применяется методика, содержащаяся в Приложениях 1 и 2 для определения минимального углового разноса, при котором активный спутник заданной системы ВОО может быть виден с любой другой земной станцией, работающей с любым спутником ГСО, и таким образом рассчитывается наихудший случай повышения шумовой температуры в линии ГСО.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – В Приложении 4 даются примеры применения Приложений 1–3.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – В Приложении 6 приводятся примеры применения Приложения 5.

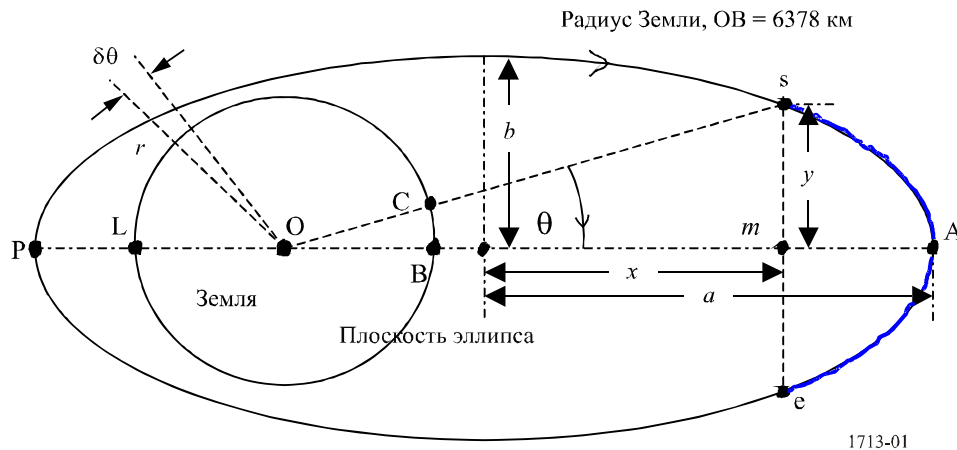
Приложение 1

Методика расчета минимального угла, образуемого на поверхности Земли между спутником ВОО, расположенным на своей "активной" дуге, и видимой частью геостационарной орбиты

На рисунке 1 приводится двухмерное изображение траектории движения спутника вокруг Земли. Обычно это представляет собой эллиптическую орбиту, где одна из двух фокусных точек совпадает с центром гравитации Земли, О, и плоскость орбиты наклонена по отношению к экваториальной плоскости Земли. (ГСО является частным случаем, когда эллипс становится кругом в экваториальной плоскости.)

РИСУНОК 1

Планиметрия эллиптической орбиты



В большинстве систем ВОО спутник на такой орбите передает (или принимает) только тогда, когда он находится в пределах ограниченной дуги, содержащей апогей, А, и поэтому будет создавать (или испытывать) помехи только тогда, когда он находится в пределах той дуги, которая обычно называется "активной" дугой. Подавляющее большинство систем ВОО проектируется так, чтобы апогей являлся самой высокой точкой по широте, и в таких случаях максимальные уровни помех потенциально возникают, когда спутник находится в начале или в конце своей "активной" дуги. Длина "активной" дуги зависит от системы. На рисунке 1 начало "активной" дуги обозначено как s и конец как e. Динамика орбиты такова, что спутник быстро проходит область перигея, Р, и относительно медленно область апогея. (Фактически, область, охватываемая вектором радиуса, r , за единицу времени, т. е. $(r^2/2)(\delta\theta/\delta t)$ является постоянной для всей орбиты.)

Этап 1: Первым этапом здесь является определение длины Os, исходя из основных характеристик орбиты.

Информация, обычно представляемая в МСЭ-R относительно системы ВОО, включает следующее: высоту апогея (АВ (км)); высоту перигея (PL (км)); эксцентриситет, ϵ ; наклонение; i градусы; истинную аномалию начала (и конца) "активной" дуги (угол POs на рисунке 1, т. е. $180^\circ - \theta^\circ$).

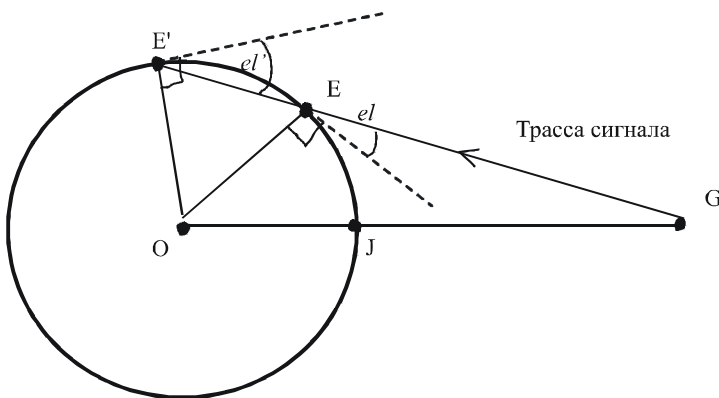
В качестве альтернативы истинным аномалиям s и e часто даются периоды времени движения спутника из s до апогея и от апогея до e, например ± 4 час. В таких случаях величина θ может быть получена путем моделирования ситуации время-этап для его определения либо путем объединения, основанного на том факте, что $(r^2/2)(\delta\theta/\delta t)$ является постоянной, но оба варианта являются относительно сложными. Для изучений МСЭ-R более удобно получать в явном виде или истинную аномалию s (или e), или угол θ , именно это здесь и предполагается; тем не менее, электронная версия динамической таблицы EXCEL, приложенная к данной Рекомендации, содержит стандартную программу Visual Basic для определения θ со времени до апогея, когда спутник достигает s (или время после апогея, когда спутник достигает e).

Можно отметить, что информация, требуемая для представления в соответствии с Приложением 4 к РР при передаче в Бюро радиосвязи любых заявок на спутниковые системы НГСО, содержит высоту апогея и перигея и эксцентриситет, но в настоящее время пределы активной дуги, которые относятся только к системам НГСО класса ВОО, не включены в список данных, которые необходимо представлять. Тем не менее, для систем НГСО (потенциально включающих ВОО), планируемых для использования в полосах частот, в которых применяются пределы э.п.п.м. Статьи 22 РР, одним из параметров, требуемых по Приложению 4 к РР, является минимальная высота над поверхностью Земли, на которой осуществляет передачу любой спутник системы. Для спутника ВОО это sC на рисунке 1.

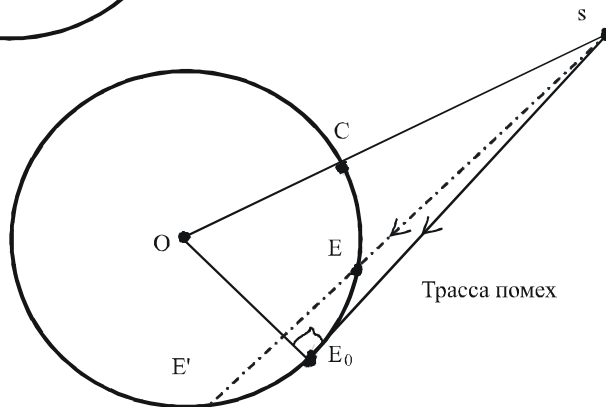
На основе рисунка 1, используя тригонометрию на эллипсе и на плоскости, может быть составлено квадратное уравнение для x в зависимости от АВ, PL, ϵ и θ и решено для x, а длина Os может быть затем найдена из треугольника Oms.

РИСУНОК 2

Примеры плоскостных треугольников



Невероятно, чтобы линия ГСО была спроектирована так, чтобы работать при наклоне (el) ниже чем 5° , при котором EG составляет 41 124,624 км. el' может превышать 5° , но $E'G$ четко превышает эту длину. Поэтому условием того, чтобы E была "видима" с G, является: $35\,786 \text{ км} \leq EG < 41\,124,624 \text{ км}$.



E видима с s, но E' затенена Землей от s. E₀ находится на контуре, для которого s находится на уровне 0° . Тогда треугольник OsE₀ является прямоугольным, и поэтому $sE_0 = ((Os)^2 - (6378)^2)^{0.5}$. Следовательно, условием того, чтобы E была видима для s, является: $sE < ((Os)^2 - (6378)^2)^{0.5}$.

1713-02

Этап 2: Следующий этап связан с нахождением широты s и ее долготы относительно синхронизированной долготы апогея, что может быть сделано с использованием рисунка 3. Это представляет собой трехмерное изображение орбиты с использованием тех же символов, что и на рисунке 1, поэтому Os равняется величине, рассчитанной на Этапе 1. Применяя теорему косинусов на сфере к сферическим треугольникам OBCD и CODF на рисунке 3 и затем применяя теорему синусов на сфере к сферическому треугольнику ONBC, можно вывести, что долгота s относительно A (α_C) и ее широта (λ_C) получаются как:

$$\alpha_C = -\angle FOD = -\tan^{-1}(\tan(\theta)/\cos(i)) \quad \text{и} \quad \lambda_C = \angle FOC = \cos^{-1}(\sin(\theta)/\sin(\alpha_C)).$$

РИСУНОК 3

Географические координаты начала "активной" дуги ВОО

A, B, C, L, O, P, s и θ даны на рисунке 1.

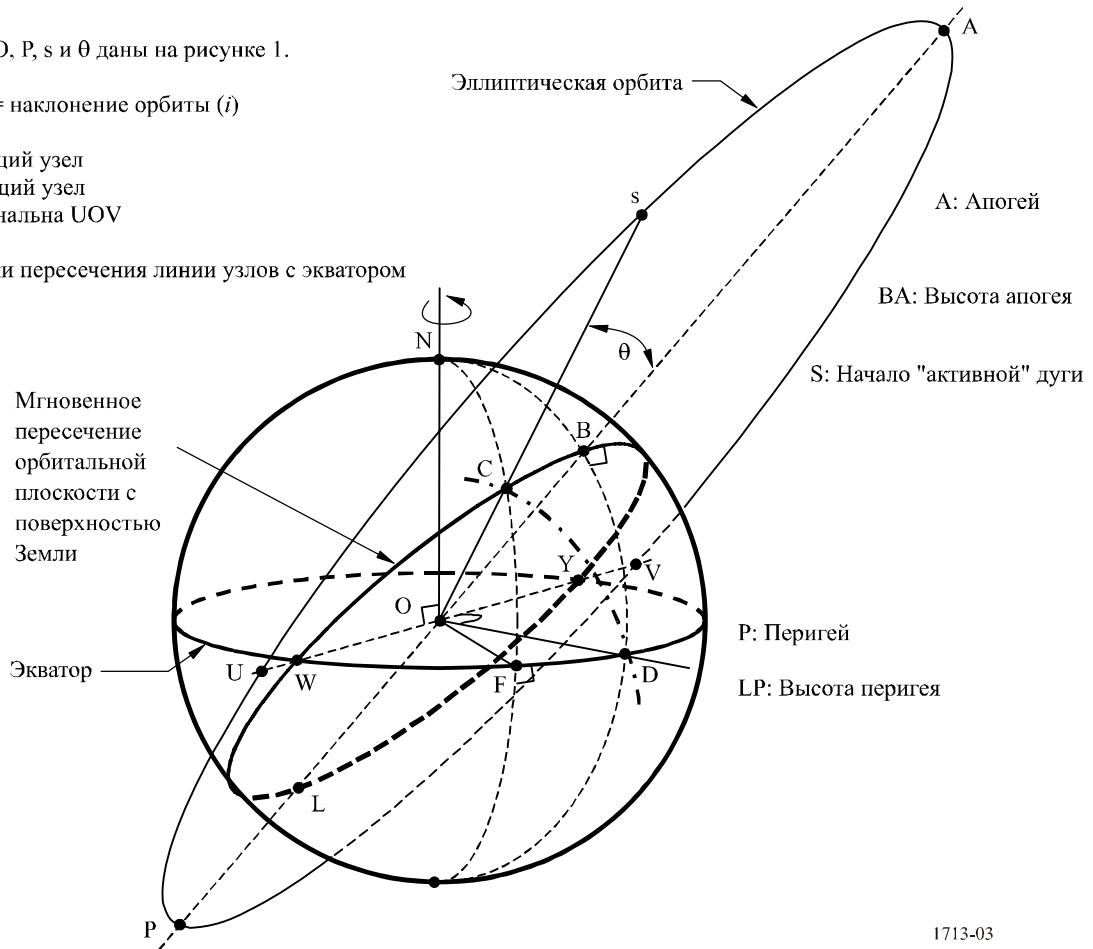
Угол BOD = наклонение орбиты (i)

U: восходящий узел

V: нисходящий узел

OD: ортогональна UOV

W и Y: точки пересечения линии узлов с экватором



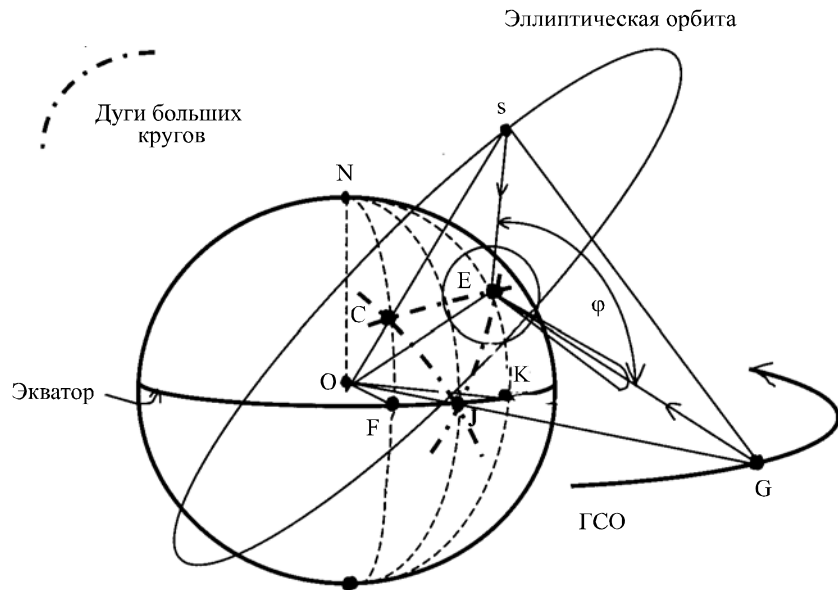
Этап 3: Найдя широту и мгновенную относительную долготу s , соответствующий угловой разнос по помехам (ϕ) на любой земной станции, E, работающей с любым геостационарным спутником, G, может быть рассчитан с использованием рисунка 4, в котором точки C, O, F, N и s идентичны тем, которые указаны на рисунке 3. Таким образом, на рисунке 4 широта E равна λ_E и ее долгота относительно долготы A равна α_E , и долгота G относительно долготы A равна α_G . В результате, поскольку α_C , α_E , λ_C , λ_E , α_G , OE (радиус Земли), OG (радиус ГСО) и Os известны или были рассчитаны,

- применяя теорему косинусов на сфере к сферическому треугольнику ONCE и затем применяя теорему косинусов на плоскости к плоскостному треугольнику OsE, можно рассчитать длину sE;
- применяя теорему косинусов на сфере к сферическому треугольнику OCFJ и затем применяя теорему косинусов на плоскости к плоскостному треугольнику OsG, можно рассчитать длину sG; и
- применяя теорему косинусов на сфере к сферическому треугольнику OEJK и затем применяя теорему косинусов на плоскости к плоскостному треугольнику OEG, можно рассчитать длину EG.

И, наконец, в плоскостном треугольнике EsG, поскольку уже рассчитаны все три стороны sE, sG и EG, угол ϕ можно найти с использованием теоремы косинусов на плоскости.

РИСУНОК 4

Геометрия помех от спутника ВОО в начале "активной" дуги земной станции сети ГСО (т. е. трасса sE)



C, F, N, O и s: даны на рисунке 3.

G: Геостационарный спутник

E: Земная станция, принимающая от G

1713-04

Таким образом, используя данную процедуру, можно рассчитать угловой разнос по помехам ϕ для любой линии вниз ГСО (т. е. для земной станции в любом географическом местоположении, осуществляющей прием со спутника ГСО на любой долготе), если известны угол наклона ВОО, высота апогея, высота перигея, эксцентриситет и истинная аномалия или время относительно апогея начала (или конца) "активной" дуги.

Чтобы найти минимальную величину ϕ , нужно написать простую компьютерную программу и пройти через диапазон комбинаций α_E , λ_E и α_G , используя вышеуказанную процедуру для расчета ϕ для каждой комбинации, и затем выбрать наименьшую величину. Поскольку помехи могут возникнуть только для комбинаций α_E , λ_E и α_G , при которых E является видимой как для G, так и для s (см. рисунок 4), но все такие комбинации должны быть рассмотрены, целесообразно подготовить простую программу, чтобы включить широкий диапазон этих трех переменных, и затем исключить из вычислений любые комбинации, где E затемнена Землей от G или s или как от G, так и от s. Это иллюстрируется на примерах, взятых из рисунка 4, для плоскостных треугольников, показанных на рисунке 2.

Приложение 2

Расчет увеличения шума в линии ГСО вследствие помех от спутника ВОО в начале его "активной" дуги

Из рисунка 4 можно видеть, что помехи от спутника ВОО в s линии между геостационарным спутником в G и земной станцией в E будут поступать в приемник земной станции через боковой лепесток диаграммы направленности антенны. Соответствующее увеличение шумовой температуры линии ГСО определяется как:

$$10\log((\Delta T/T)/100) = E_1 - 20\log(4\pi d/\lambda) + G(\varphi) - 10\log(kT) \quad \text{дБ,}$$

где:

- $\Delta T/T$: увеличение шума в линии, выраженное в процентах;
- E_1 : плотность э.и.и.м. несущей, передаваемой спутником ВОО (дБ(Вт/Гц));
- d : длина трассы помех sE (м);
- λ : длина волны (м) = $(0,3)/f$, где f является несущей частотой ВОО (ГГц);
- $G(\varphi)$: усиление приема антенны земной станции на частоте f и при угле вне оси φ (дБи);
- T : шумовая температура линии ГСО (К);
- k : постоянная Больцмана, т. е. $10\log(k) = -228,6$ дБ(Вт/Гц/К).

T может быть либо шумовой температурой только линии вниз ГСО, либо шумовой температурой системы ГСО, отнесенной ко входу приемника земной станции, в зависимости от выбираемой формы выражения $\Delta T/T$.

Поскольку методика в данном Приложении относится к расчету помех между системами НГСО и ГСО, для расчета $G(\varphi)$ целесообразно использовать диаграммы усиления, приведенные в Рекомендации МСЭ-R S.1428, где $G(\varphi)$ выражается через D/λ и D – диаметр антенны (м).

Приложение 3

Итеративная реализация методики в Приложении 1

Представленная в настоящем Приложении ("MinseparationNEOangle") процедура, разработанная в Приложении 1, реализуется в динамической таблице EXCEL, которая содержит программы Visual Basic для прогона всех комбинаций широты и долготы земной станции и долготы спутника ГСО, при которых как спутник ГСО, так и начало активной орбиты системы одновременно видны, и, таким образом, для определения минимального углового разноса на любой земной станции, в которой могут возникнуть взаимные помехи. Для удобства пользователя простые шаги, описанные в Приложении 2, включены в динамическую таблицу, с тем чтобы обеспечить результат, дающий максимальную величину $\Delta T/T$ вследствие этих помех, если это требуется. Как очевидно из примеров в Приложении 4, динамическая таблица охватывает все типы орбиты, в которых используется "активная" дуга, при условии что дуга не пересекает никакие линии между ГСО и поверхностью Земли на широте $\pm 81,3^\circ$.

Единственными входными требуемыми данными являются следующие параметры системы ВОО:

- высота апогея (км);
- высота перигея (км);

- эксцентриситет (как десятичная дробь);
- угол наклона орбиты (в градусах);
- один (или более) из трех параметров для определения начала s (или конца "е") "активной" дуги, т. е.:
 - любой геоцентрический угол между s и апогеем (в градусах);
 - или время, затрачиваемое спутником для движения между s и апогеем (час)¹;
 - или высота s (км).

Если пользователь желает рассчитать соответствующее значение $\Delta T/T$, то требуются следующие дополнительные входные параметры:

- максимальная плотность э.и.и.м. спутника ВОО (дБ(Вт/Гц));

и следующие параметры линии ГСО:

- диаметр (м) антенны земной станции линии ГСО;
- диаграмма усиления приема антенны земной станции линии ГСО (дБи в зависимости от внеосевого угла);
- шумовая температура линии ГСО (К);
- частота (ГГц).



MinseparationHEOangle.xls

Приложение 4

Примеры применения методики, содержащейся в Приложении 1

Во второй-восьмой строках таблицы 1, ниже, содержится перечень орбитальных характеристик 12 различных проектов систем ВОО, составленный из информации, представленной в МСЭ-R. Чтобы проиллюстрировать такие системы, типы их следов на Земле сравниваются на рисунках 5–7. В одиннадцатой строке таблицы даются значения долготы апогея, используемые при подготовке рисунков 5–7; эти значения долготы апогея были выбраны просто для удобства иллюстрации, и никакого другого смысла здесь не имеют.

¹ Прилагаемый документ включает дополнительную программу Visual Basic, с тем чтобы использовать этот элемент данных, если он имеется. В этом случае рассчитывается не только минимальный угловой разнос, но и абсолютные местоположения земной станции и спутника ГСО, для которых получается этот угол, при условии, что в качестве дополнительной входной информации вводится долгота апогея ВОО. См. соответствующий файл EXCEL, озаглавленный "MinseparationHEOangle".

ТАБЛИЦА 1

1. Система ВОО	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2. Высота апогея (км)	35 970	44 640,5	39 000	35 800	52 700	40 000	50 400	27 288,3	20 180	47 669	39 300	27 470
3. Высота перигея (км)	4 500	26 931,5	500	35 800	18 900	31 600	21 200	517,4	20 180	9 312,9	1 075	310
4. Эксцентриситет орбиты	0,59	0,21	0,74	0	0,4	0,1	0,347	0,66	0	0,55	0,72	0,67
5. Наклонение орбиты (градусы)	50	42,5	63,43	63,4	60	40	63,4	63,435	63,4	45	63,4	45
6. Угол s по отношению к апогею (градусы)	35	31	(29,5)	60	(30)	37	(24)	40	(30)	(36)	25	(28)
7. Время s по отношению к апогею (час)	(-3,13)	(-3)	-3,5	(-4)	-4	(-2,95)	-3	(-2,55)	-1	(-4,5)	(-3,06)	-2
8. Высота s (км)	(27 200)	(42 800)	(26 900)	Н/Д	(48 000)	(39 000)	(47 900)	(16 500)	Н/Д	(37 800)	(30 700)	(21 400)
9. Минимальный угловой разнос (градусы)	39,84	35,84	52,58	26,94	49,35	31,34	55,49	40,66	51,84	35,47	55,55	37,73
10. Проверка с использованием моделирования (градусы)	(39,78)	(35,78)	(52,50)	(26,86)	(49,25)	(31,40)	(55,47)	(40,91)	(51,86)	(35,51)	(55,49)	(37,26)
11. Долгота апогея (градусы в. д.)	-150	-108	-62	-43	-130	-38	-110	-83	-30	-18	27	57
12. Долгота земной станции (градусы в. д.)	-117,63	-110,81	14,89	17,33	-43,32	38,65	-34,89	-75,38	-35,33	79,63	101,86	82,72
13. Широта земной станции (градусы с. ш.)	73,63	-46,70	3,72	-7,73	-3,15	-5,44	-2,01	73,63	73,63	-5,44	2,58	73,63
14. Долгота спутника ГСО (градусы в. д.)	-150,29	-102,22	-61,32	-58,88	-119,52	-37,55	-111,09	-108,04	-67,99	3,42	25,66	50,06
15. Пример $\Delta T/T$ (%) ⁽¹⁾	0,204	0,072	0,150	0,200	0,058	0,108	0,058	0,572	0,386	0,043	0,122	0,312

⁽¹⁾ Значения, вычисленные через Приложение 2 для $E_1 = -21$ дБ(Вт/Гц), $D = 3$ м, $T = 100$ К, $f = 11$ ГГц и $G(\varphi)$ из Рекомендации МСЭ-R S.1428-1.

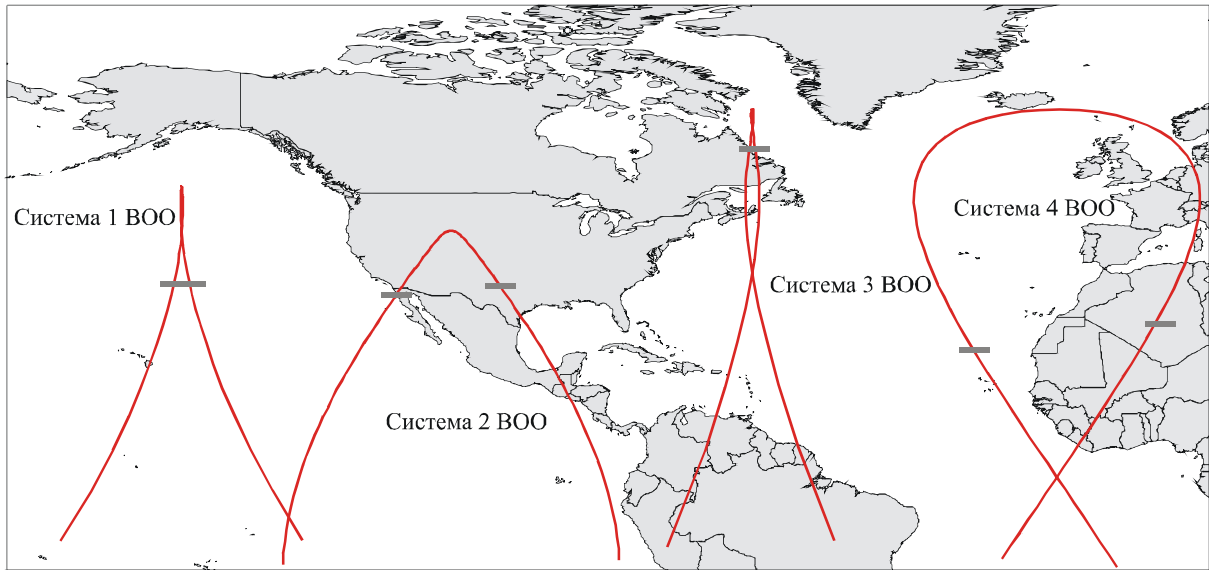
Н/Д: нет данных.

Шестая, седьмая и восьмая строки являются различными путями заявления начала (или конца) "активной" дуги. В этих трех строках значения без скобок – это те значения, которые представлены в МСЭ-R; значения в скобках были получены из компьютерного моделирования каждой системы, задавая интервал изменения значения без скобок и отмечая два соответствующих значения в скобках. Результаты в девятой строке определены из Приложения 3, используя значения без скобок для определения начала "активной" дуги (когда в Приложении 3 были использованы значения в скобках, результаты были минимально различными, но разница была в пределах точности выполняемых расчетов). Проверка каждого результата была выполнена путем моделирования на компьютере, достигая минимальных углов разноса, показанных курсивом в десятой строке; как можно видеть, они находятся в тесном соответствии со значениями в девятой строке и таким образом подтверждают справедливость Приложения 3.

Кроме того, на основе значений долготы апогея в одиннадцатой строке комбинация местоположений земной станции и спутника ГСО, при которой возникает минимальный внеосевой угол, в каждом случае получалась при использовании Приложения 3, и они приводятся в двенадцатой, тринадцатой и четырнадцатой строках таблицы 1.

РИСУНОК 5

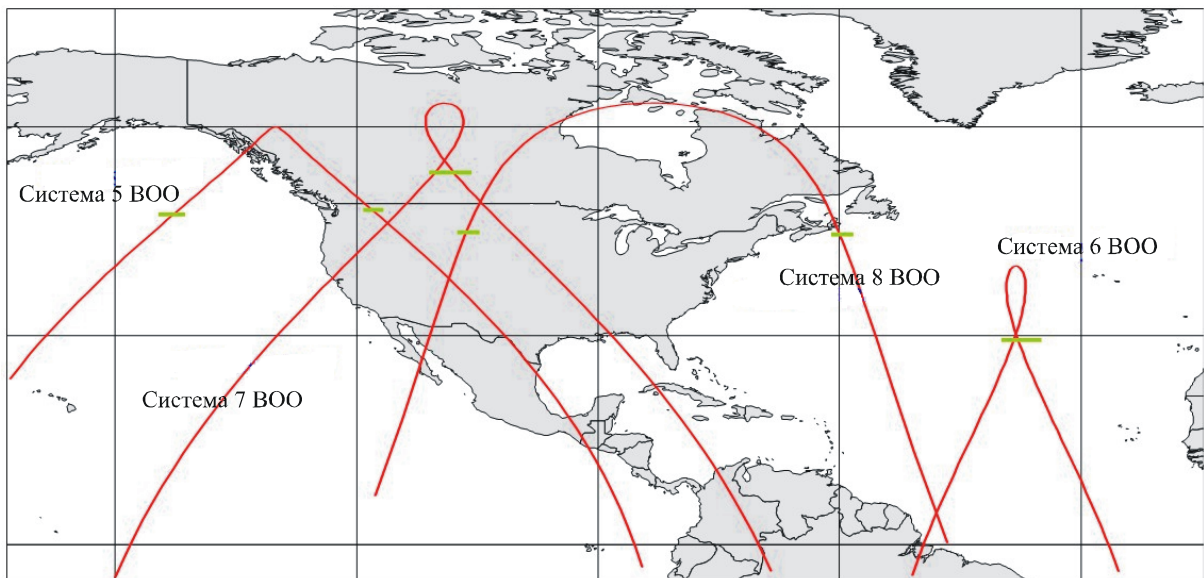
Части земных трасс систем 1–4 ВОО, показывающие "активные" дуги (т. е. выше —)



1713-05

РИСУНОК 6

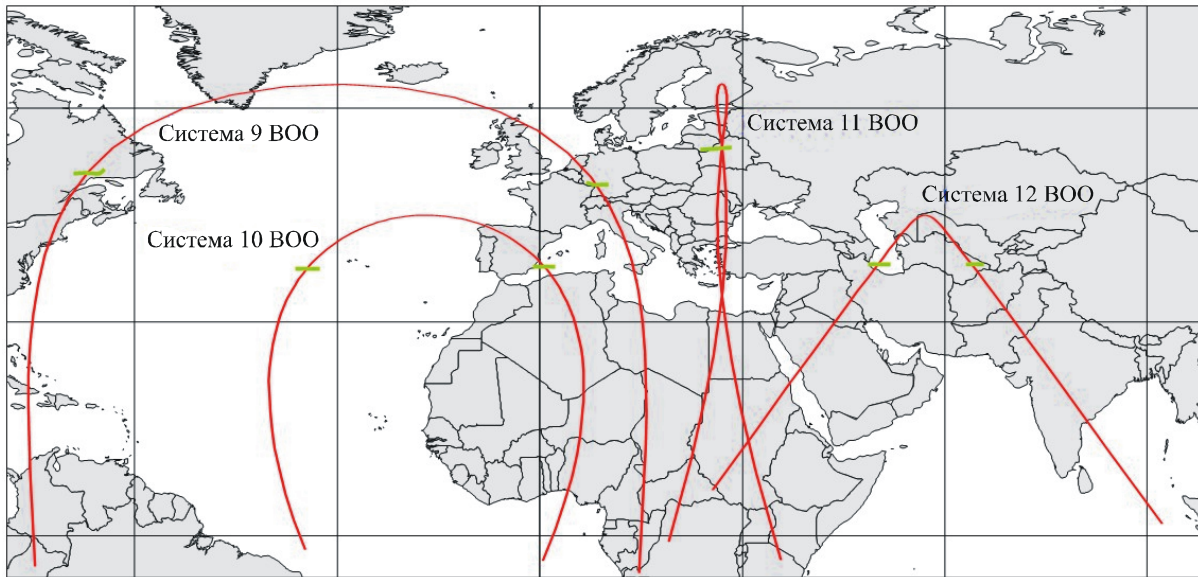
Части земных трасс систем 5–8 ВОО, показывающие "активные" дуги



1713-06

РИСУНОК 7

Части земных трасс систем 9–12 ВОО, показывающие "активные" дуги

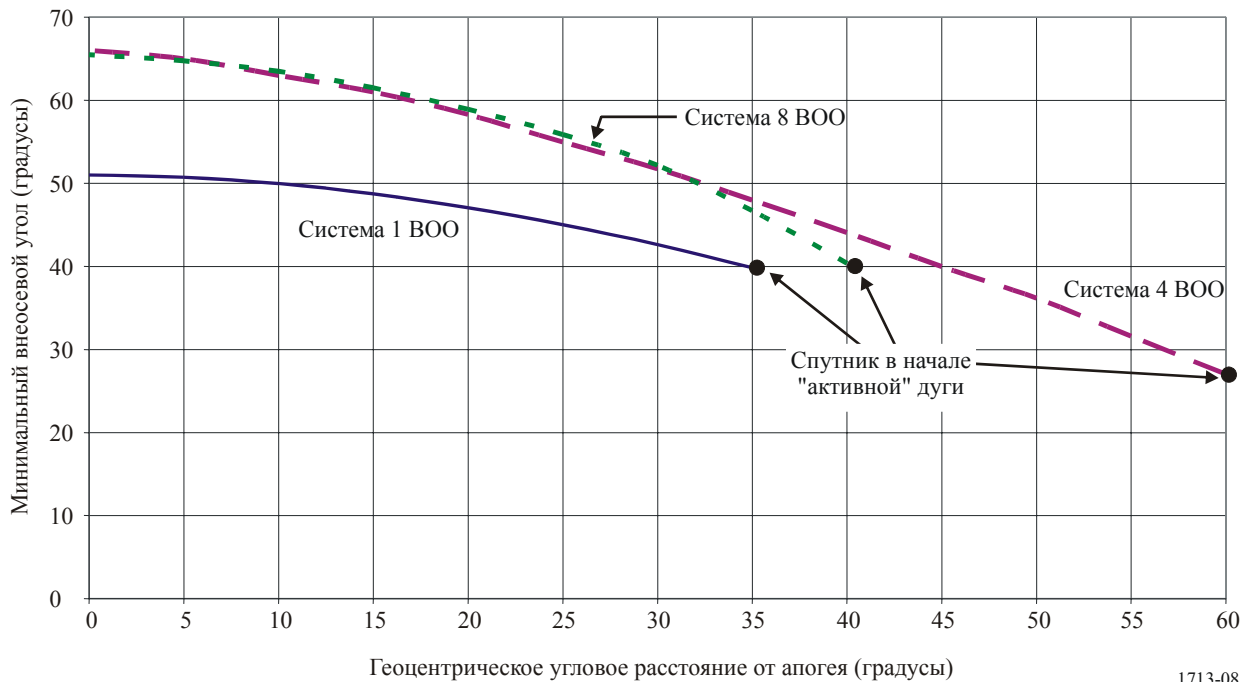


1713-07

В результате, наличие Приложения 3 наделяет средствами для проверки верности п. с) раздела *учитывая* в рассматриваемых примерах. Это было сделано для систем 1, 4 и 8 с целью широкого охвата типов систем в плане определения минимального внеосевого угла (или углового разноса) для постепенно уменьшаемых величин геоцентрического угла θ между спутником ВОО и апогеем. В графической форме результаты представлены на рисунке 8.

РИСУНОК 8

Изменение минимального внеосевого угла в зависимости от расстояния спутника ВОО от апогея



1713-08

Рисунок 8 четко показывает, что для типовых систем ВОО чем дальше спутник находится от апогея своей орбиты, тем меньше минимальный внеосевой угол, при котором он виден с земных станций, теоретически работающих с каким-либо геостационарным спутником, расположенным на долготе дуги ГСО с наиболее неблагоприятными условиями для данной конкретной орбиты спутника ВОО.

Приложение 5

Методика расчета минимального угла, образуемого на поверхности Земли в пределах зоны обслуживания луча спутника на геостационарной орбите на заданной долготе между этим спутником и спутником ВОО, расположенным на своей "активной" дуге

1 Планиметрия эллиптической орбиты

На рисунке 9 приводится двухмерное изображение траектории движения спутника ВОО вокруг Земли. Параметры, часто используемые для определения мгновенного местоположения такого спутника на его орбите, т. е. средняя аномалия, M , эксцентрическая аномалия, E , и истинная аномалия, f , задаются следующими выражениями², в которых символы определены ниже:

$$M = 2 \pi t/T \text{ (рад)}$$

$$M = E - \varepsilon \sin(E) \text{ (рад)} \quad \text{(уравнение Кеплера)}$$

$$f = 2 \tan^{-1}(\{(1 + \varepsilon)/(1 - \varepsilon)\}^{0,5} \tan(E/2)) \text{ (рад)}.$$

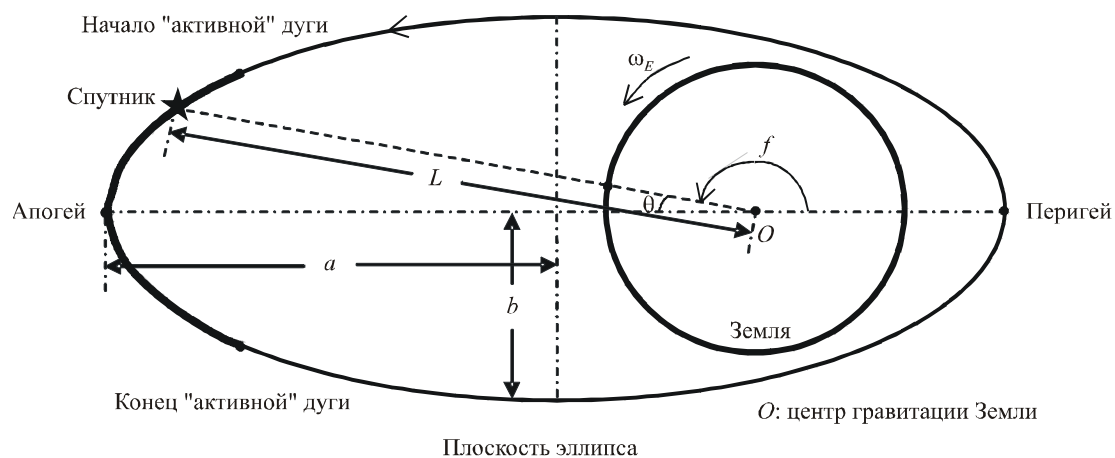
Также можно заключить, что длина L между местом расположения спутника ВОО на "активной" дуге и центром гравитации Земли определяется формулой:

$$L = a (1 - \varepsilon \cos(E)) \text{ (км)}.$$

² См. Приложение 1 Рекомендации МСЭ-R S.1529.

РИСУНОК 9

Планиметрия эллиптической орбиты



a : половина большой оси (км)
 b : половина малой оси (км)
 i : угол наклона (рад)
 e : эксцентриситет
 f : истинная аномалия (рад)
 E : эксцентрисическая аномалия

t : время ($t = 0$: перигей) (с)
 T : орбитальный период (с)
 θ : угол от апогея (рад)
 ω_E : угловая скорость вращения Земли (рад/с)

1713-09

2 Расчет географических координат спутника ВОО на "активной" дуге

Применяя метод, изложенный в этапе 1 Приложения 1, можно рассчитать долготу, λ_C , и относительную долготу, α_C , спутника ВОО на "активной" дуге. Кроме того, его абсолютная долгота, α , задается формулой:

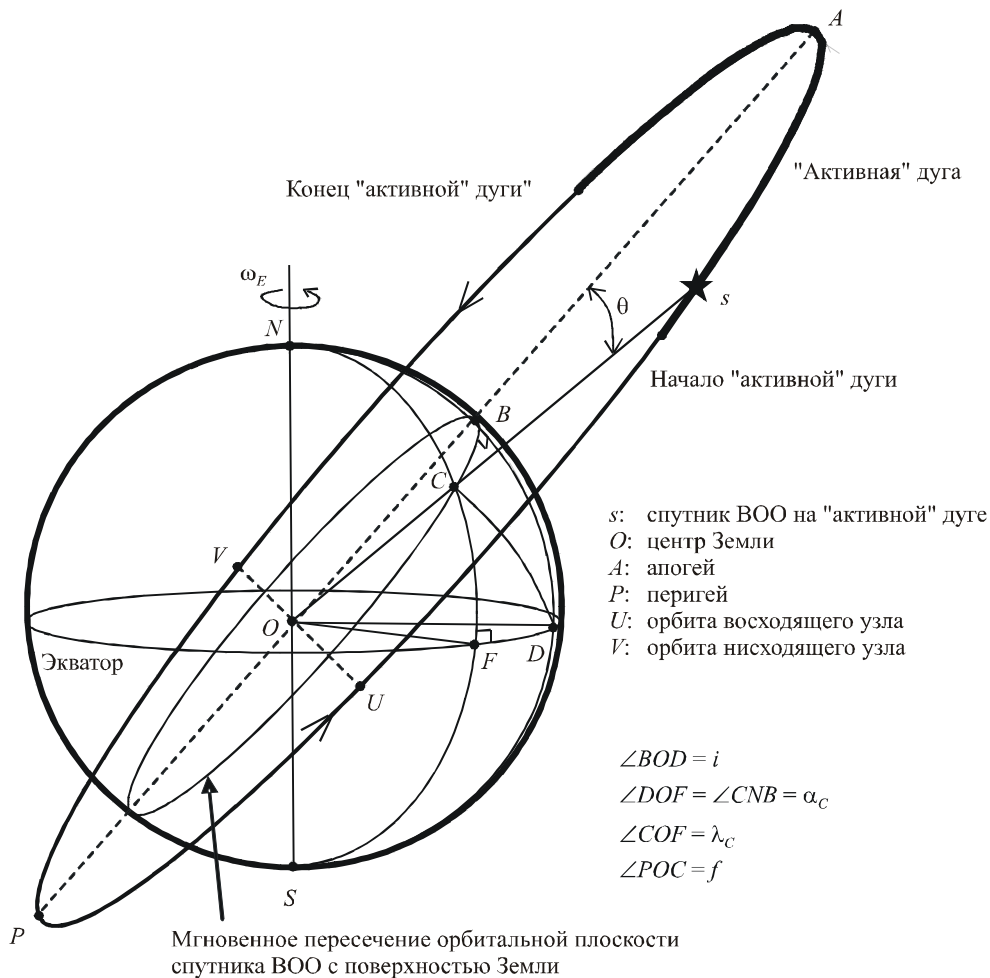
$$\alpha = \alpha_C + \alpha_{\text{апогея}} - \omega_E (t - t_{\text{апогея}}) \text{ (рад)}$$

$t_{\text{апогея}}$: время в апогее (с);

$\alpha_{\text{апогея}}$: долгота апогея (рад).

РИСУНОК 10

Географические координаты спутника ВОО



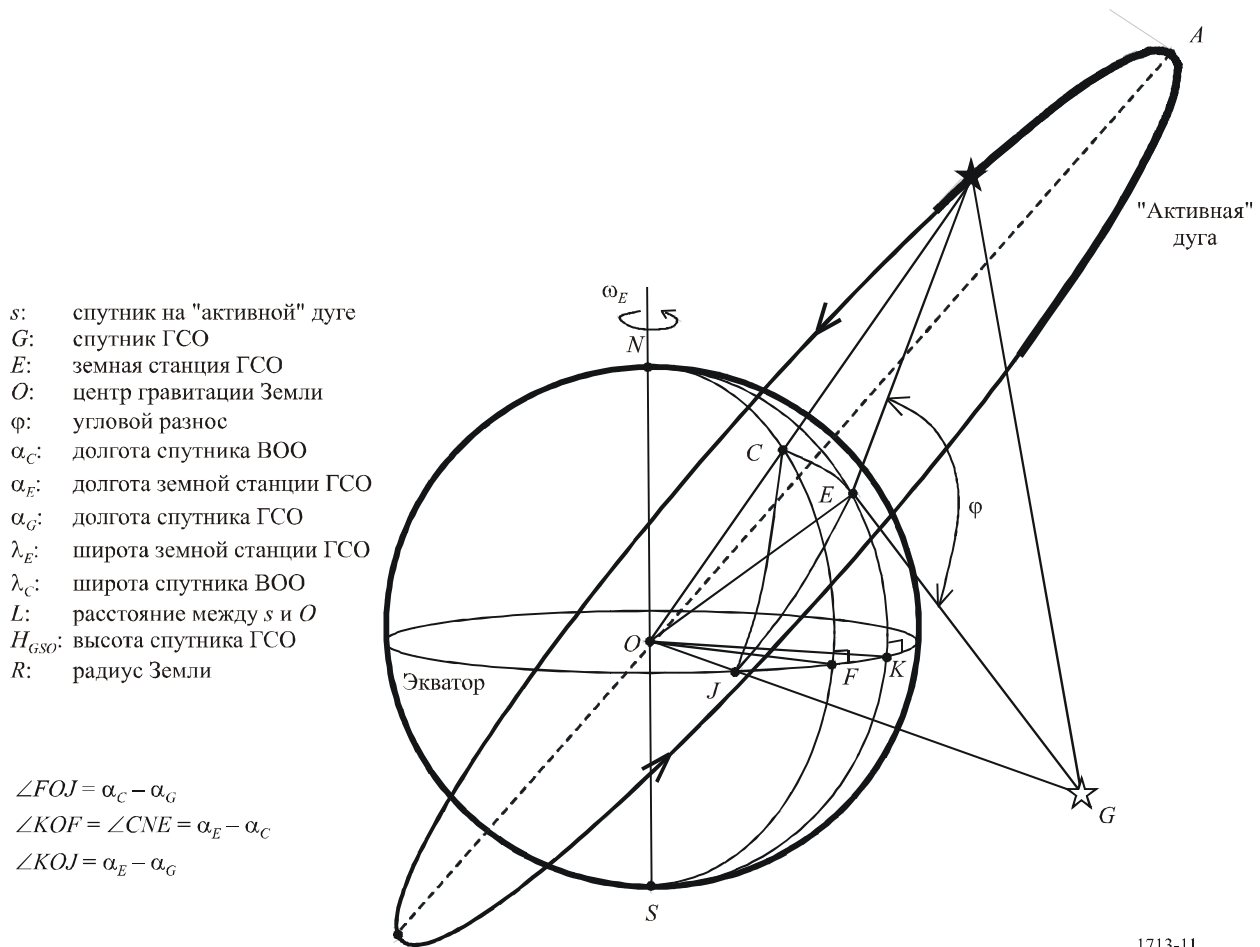
1713-10

3 Расчет минимального углового разнеса

Применяя методику, изложенную в этапе 3 Приложения 1, можно рассчитать угловой разнос, ϕ , между спутником ВОО на "активной" дуге и конкретным спутником ГСО для земной станции в любом географическом районе, в котором осуществляется прием со спутника ГСО, если известны угол наклона, высота апогея, высота перигея, эксцентриситет и долгота апогея спутника ВОО и долгота ГСО.

РИСУНОК 11

Угловой разнос между спутниками ВОО и ГСО от земной станции ГСО в точке E



1713-11

Следует отметить, что в Приложении 1 углы α_E и α_G указаны по отношению к углу α_C , в то время как в Приложении 5 они отражают долготу E и долготу G, соответственно.

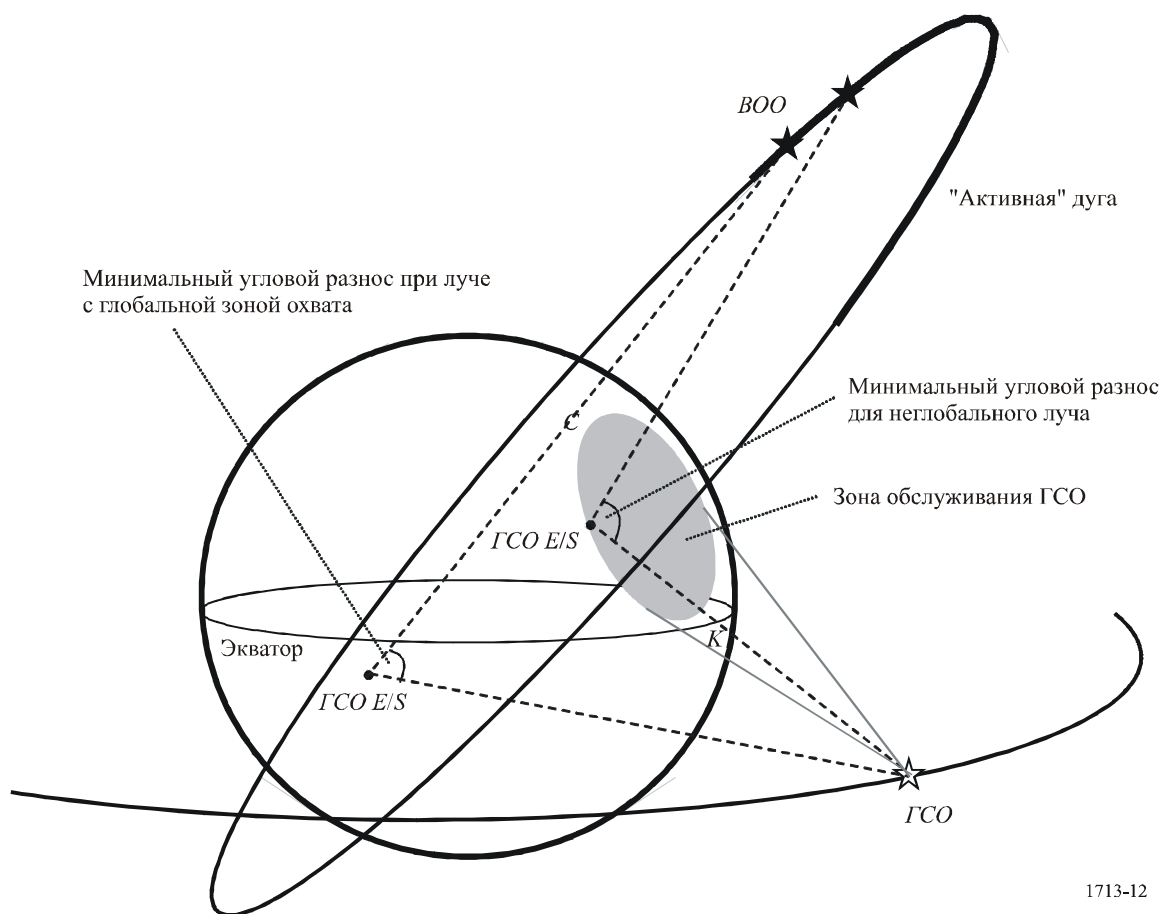
Для того чтобы найти минимальное значение φ , можно составить компьютерную программу, позволяющую осуществить цикл вычислений по широкому диапазону комбинаций α_E , λ_E и t , применяя процедуру, предусмотренную в этапе 3 Приложения 1 для расчета по каждой такой комбинации, после чего выбирается наименьшее значение.

Поскольку помехи могут возникать только для комбинаций α_E , λ_E и t , при которых земная станция находится в радиовидимости как со спутника ВОО, так и со спутника ГСО, хотя необходимо исследовать все такие комбинации, целесообразно было бы составить программу таким образом, чтобы она включала широкий набор из трех переменных, а затем исключала из вычислений любые комбинации, при которых земная станция затеняется Землей от спутника ГСО или от спутника ВОО, либо от обоих спутников. Это показано на рисунке 2.

В тех случаях, когда спутник ГСО не применяет луч с глобальной зоной обслуживания, следует также исключать комбинации, при которых наземная станция ГСО находится за пределами используемой ширины луча спутника ГСО.

РИСУНОК 12

Минимальный угловой разнос между спутниками ВОО и ГСО, когда не применяется луч с глобальной зоной обслуживания



Кроме того, $\Delta T/T$ можно рассчитать, используя методику, содержащуюся в Приложении 2.

Приложение 6

Примеры применения методики Приложения 5

В таблице 2, ниже, приводятся результаты, полученные на основе методики Приложения 5 по 12 различным наборам переменных параметров систем ВОО, перечисленных в таблице 1.

ТАБЛИЦА 2

Минимальные угловые разности при ГСО с глобальным лучом

1. Система ВОО	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2. Высота апогея (км)	35 970	44 640,5	39 000	35 800	52 700	40 000	50 400	27 288,3	20 180	47 669	39 300	27 470
3. Высота перигея (км)	4 500	26 931,5	500	35 800	18 900	31 600	21 200	517,4	20 180	9 312,9	1 075	310
4. Эксцентриситет орбиты	0,59	0,21	0,74	0	0,4	0,1	0,347	0,66	0	0,55	0,72	0,67
5. Наклонение орбиты (градусы)	50	42,5	63,43	63,4	60	40	63,4	63,435	63,4	45	63,4	45
6. Долгота апогея (градусы в. ш.)	-150	-108	062	-43	-130	-38	-110	-83	-30	-18	27	57
7. Период "активной" дуги (час.)	6,26 ⁽¹⁾	6 ⁽¹⁾	7 ⁽¹⁾	8 ⁽¹⁾	8 ⁽¹⁾	5,9 ⁽¹⁾	6 ⁽¹⁾	5,1 ⁽¹⁾	2 ⁽¹⁾	9 ⁽¹⁾	6,12 ⁽¹⁾	4 ⁽¹⁾
8. Долгота спутника ГСО (градусы в. ш.)	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135
9. Минимальный угловой разнос (градусы)	80,5	109,6	118,6	120,2	87,4	145,4	102,5	112,6	118,2	126,7	100,2	78,5
10. Долгота земной станции (градусы в. ш.)	-153	76	60	-150	66	60	62	-149	59	-165	-152	-162
11. Широта земной станции (градусы с. ш.)	-40	62	24	18	45	22	34	-7	-6	61	35	58
12. Долгота спутника ВОО (градусы в. д.)	-150,3	-114,1	-62	-43	-141,3	-38,1	-112,0	-96,8	3,7	2,6	27,3	63,4
13. Широта спутника ВОО (градусы с. ш.)	38,9	35,4	63,4	63,4	48,8	40,0	62,4	59,5	54,1	36,6	63,2	38,8

⁽¹⁾ Эти значения были получены путем удвоения значений в 7-й строке таблицы 1.

Кроме того, на рисунках 13, 14 и 15 показаны результаты определения минимального углового разноса для каждой истинной аномалии на примерах систем ВОО 1, 4 и 8, соответственно. Эти результаты свидетельствуют о том, что минимальный угловой разнос между спутником ВОО на "активной" дуге и спутником ГСО меняется в зависимости от долготы спутника ГСО. Более того, эти результаты подтверждают истинный характер положения h) в разделе *учитывая*. В этой связи можно отметить, что апогей соответствует истинной аномалии в 180 градусов и что кривые на каждом рисунке в начале "активной" дуги идут от истинной аномалии, а в конце "активной" дуги – к истинной аномалии.

РИСУНОК 13

Минимальный угловой разнос в зависимости от истинной аномалии спутника ВОО системы 1 на "активной" дуге

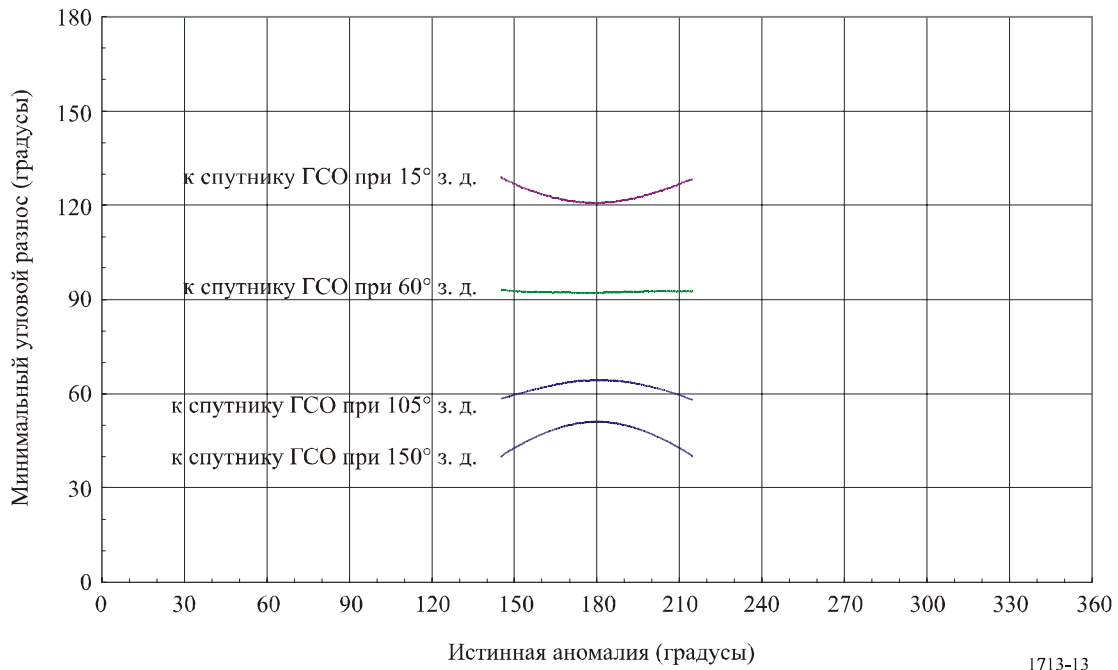


РИСУНОК 14

Минимальный угловой разнос в зависимости от истинной аномалии спутника ВОО системы 4 на "активной" дуге

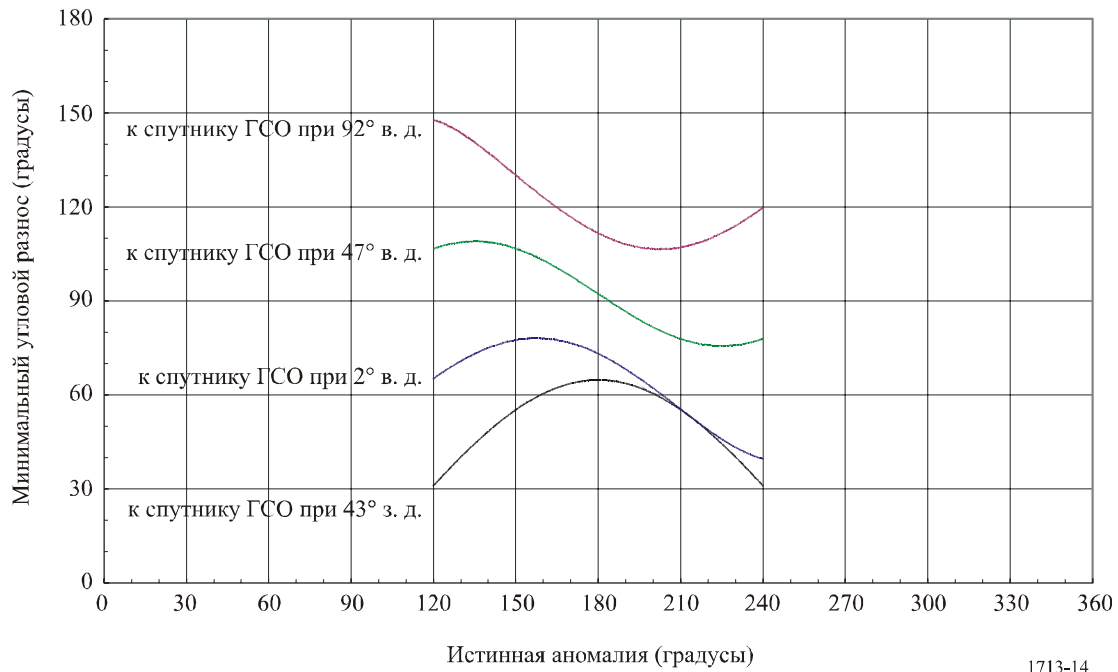
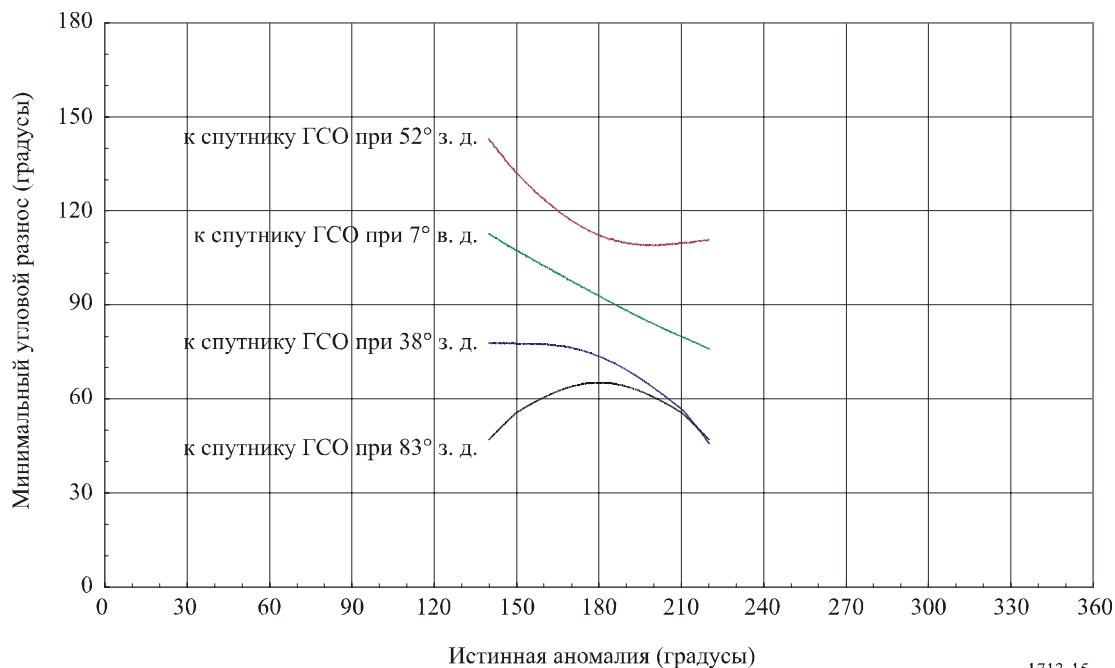


РИСУНОК 15

Минимальный угловой разнос в зависимости от истинной аномалии спутника ВОО системы 8 на "активной" дуге



В таблице 3 приводится пример эллиптической формы зоны обслуживания луча спутника ГСО в положении 135° в. д. таблица 4 отражает результаты поиска минимального углового разноса между примером системы 4 ВОО и спутником ГСО при 135° в. д., зона охвата луча которого показана в таблице 3. Кроме того, на рисунке 16 показаны минимальные угловые разносы для каждой истинной аномалии в этом случае.

ТАБЛИЦА 3

Данные, определяющие пример эллиптической зоны обслуживания луча спутника ГСО при 135° в. д.

Долгота ($^\circ$ в. д.)	Широта ($^\circ$ с. ш.)	Долгота ($^\circ$ в. д.)	Широта ($^\circ$ с. ш.)	Долгота ($^\circ$ в. д.)	Широта ($^\circ$ с. ш.)
75,7	39,9	74,3	6,3	103,0	29,5
73,3	37,4	77,7	4,8	104,0	32,5
71,1	34,8	81,8	4,4	104,6	35,5
69,1	32,2	85,7	5,4	104,8	38,6
67,8	29,2	88,7	7,5	104,0	41,6
67,2	26,1	91,3	9,9	101,7	44,1
66,9	23,1	93,7	12,4	98,1	45,6
66,7	20,1	95,7	15,1	94,0	46,1
67,0	17,0	97,3	17,9	89,9	45,8
67,7	13,9	98,8	20,8	86,0	44,9
69,1	11,1	100,3	23,7	82,1	43,7
71,4	8,5	101,7	26,5	78,7	42,1

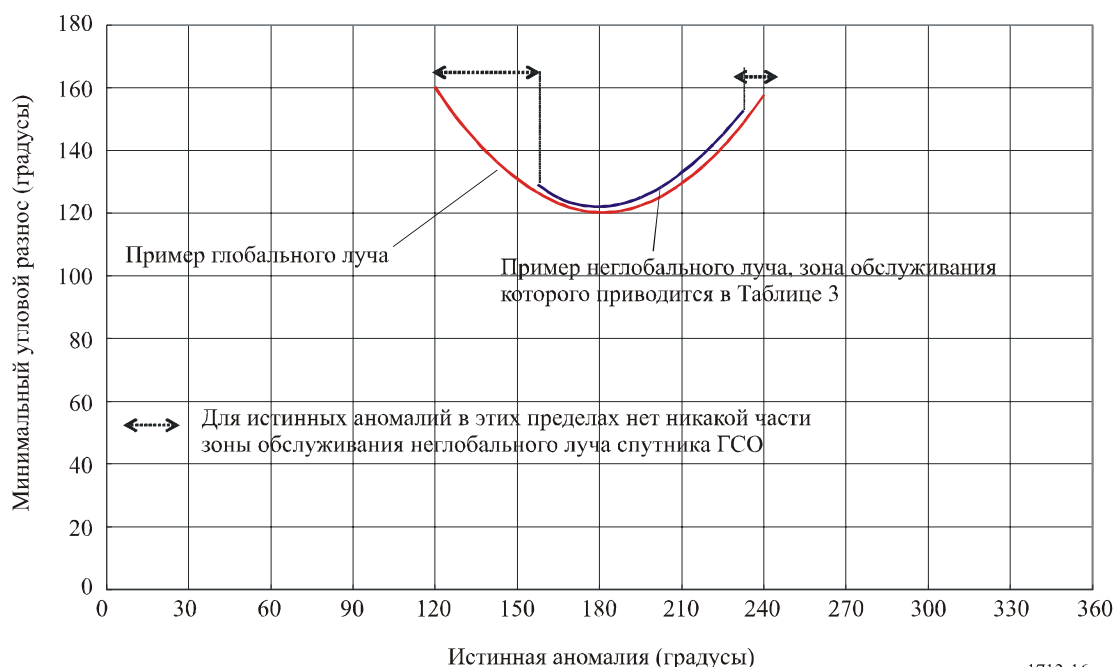
ТАБЛИЦА 4

Минимальный угловой разнос на примере ГСО с неглобальным лучом

1. Система ВОО	4
2. Высота апогея (км)	35 800
3. Высота перигея (км)	35 800
4. Эксцентриситет орбиты	0
5. Угол наклонения орбиты (°)	63,4
6. Долгота апогея (° в. д.)	-43
7. Период "активной" дуги (час.)	8
8. Долгота спутника ГСО (° в. д.)	135
9. Минимальный угловой разнос (°)	122,0
10. Долгота земной станции (° в. д.)	67
11. Широта земной станции (° с. ш.)	18
12. Долгота спутника ВОО (° в. д.)	-39,93
13. Широта спутника ВОО (° с. ш.)	63,29

РИСУНОК 16

Минимальный угловой разнос в зависимости от истинной аномалии системы 4 спутника ВОО на "активной" дуге (положение спутника ГСО: 135° в. д.)



Расположенный ниже файл Excel "MinSepAnnex5" включает дополнительный установившийся порядок Visual Basic для методики, предусмотренной в Приложении 5. Этот инструмент правильно рассчитает минимальный угловой разнос в обоих случаях: для ГСО с глобальным лучом и ГСО с неглобальным лучом. Следует отметить, что этот инструмент правильно рассчитает минимальный

угловой разнос в пределах зоны обслуживания профильного луча, при условии что зона обслуживания не содержит пустот. Если же зона обслуживания имеет пустоты, то входные данные должны включать искусственные точки, наводящие мосты для каждой пустоты, а в случае расчета минимального углового разноса в географической точке в пределах одной из пустот пользователь должен исходить из того, что это происходит на контуре зоны обслуживания в точке, которая ближе всего расположена к расчетной точке.



MinSepAnnex5.
xls
