

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R S.1256

**МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ СУММАРНОЙ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА МОЩНОСТИ НА ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ СПУТНИКОВОЙ ОРБИТЕ В ПОЛОСЕ 6700–7075 МГц ОТ ФИДЕРНЫХ ЛИНИЙ НЕГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ ПОДВИЖНОЙ СПУТНИКОВОЙ СЛУЖБЫ В НАПРАВЛЕНИИ КОСМОС–ЗЕМЛЯ**

(Вопрос МСЭ-R 206/4)

(1997)

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что полоса 6700–7075 МГц распределена на первичной основе фиксированной спутниковой службе (ФСС) для передач в направлении космос–Земля для использования фидерными линиями негеостационарных спутниковых сетей подвижной спутниковой службы (ПСС);
- b) что полоса 6700–7075 МГц распределена на первичной основе также ФСС для передач в направлении Земля–космос, а полоса 6725–7025 МГц используется в соответствии с Планом распределения по Приложению 30В Регламента радиосвязи (РР) для геостационарных спутниковых сетей;
- c) что в соответствии с положением п. S22.5А Регламента радиосвязи максимальная суммарная плотность потока мощности (п.п.м.), создаваемая в пределах  $\pm 5^\circ$  от геостационарной спутниковой орбиты (ГСО) негеостационарной спутниковой системой ФСС, не должна превышать  $-168$  дБ(Вт/м<sup>2</sup>) в любой полосе шириной 4 кГц;
- d) что Резолюция 115 Всемирной радиоконференции (Женева, 1995 г.) (ВКР-95) предлагает МСЭ-R разработать методологию для определения максимальной суммарной плотности потока мощности на ГСО от негеостационарной спутниковой сети;
- e) что параметры орбиты и характеристики передачи негеостационарных спутниковых сетей подвижной спутниковой службы определены в § А.3 vii) Приложения 1 к Резолюции 46 (Пересм. ВКР-95),

*рекомендует,*

**1** чтобы для определения максимальной суммарной плотности потока мощности (дБ(Вт/м<sup>2</sup>)) в любой полосе шириной 4 кГц, в любой точке в пределах углов  $\pm 5^\circ$  от ГСО, создаваемой фидерными линиями негеостационарной спутниковой сети, работающей в полосе 6700–7075 МГц в направлении космос–Земля, использовалась методология, приведенная в Приложении 1.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

**Методология****1 Описание методологии**

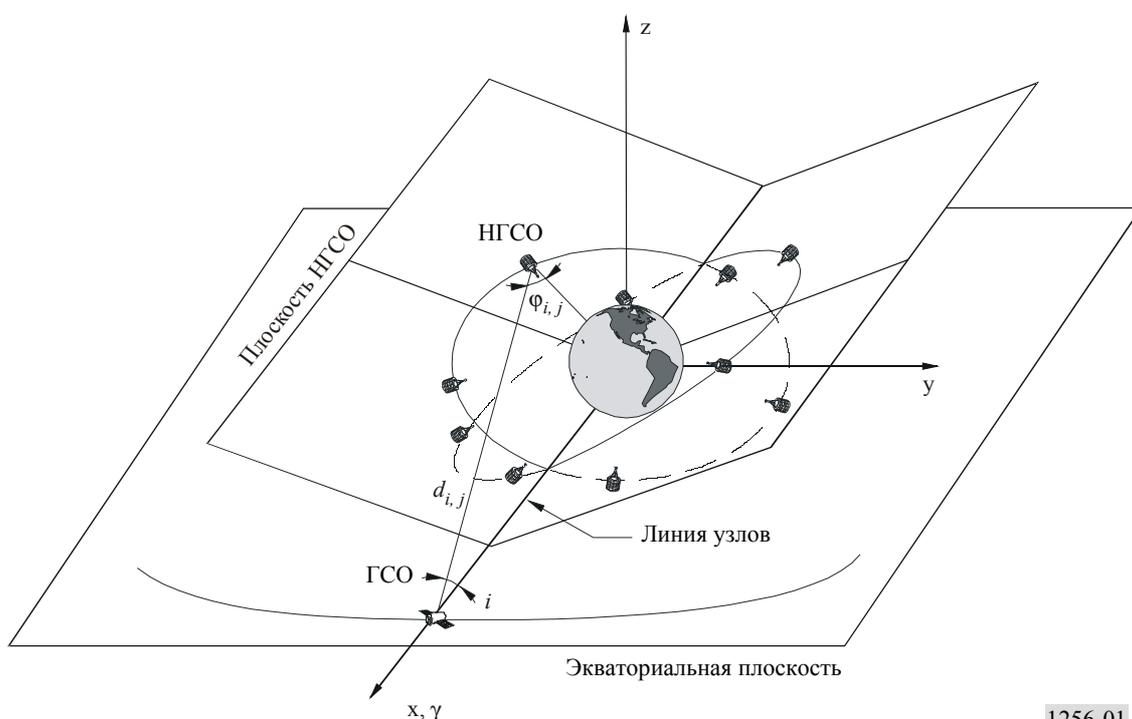
Для вычисления суммарной п.п.м., создаваемой спутниковой сетью со спутником, расположенным на негеостационарной орбите, в одиночной испытательной точке на ГСО, требуется компьютерное моделирование всей НГСО спутниковой группировки и испытательной точки на ГСО.

Учитывая, что в обычных условиях ГСО спутник делает полный оборот на геостационарной орбите за период времени около  $T_{ГСО} = 24$  ч. и что орбитальный период НГСО спутника ( $T_{НГСО}$ ) вовсе не обязательно является полным делителем  $T_{ГСО}$ , для оценки наихудшего возможного сценария, при котором п.п.м. в точках ГСО имела бы максимальный уровень, необходимо выполнять статистическое моделирование, требующее значительных затрат времени.

Для оценки максимальной п.п.м. в любой точке ГСО можно выполнить простое моделирование, требующее намного меньших затрат времени. Вместо реального вращающегося на орбите ГСО спутника рассматривается фиксированная испытательная точка на ГСО, орбитальная позиция которой фиксирована на Картезианской системе координат  $Oxyz$  (см. рисунок 1), но не во вращающейся системе координат Земли. Учитывая это, поскольку орбитальный период НГСО спутников равен  $T_{НГСО}$ , подразумевается, что позиция НГСО спутников, как она видна из фиксированной точки на ГСО (см. рисунок 1), будет повторяться, по крайней мере, один раз за время орбитального периода  $T_{НГСО}$ . Более того, в том случае, когда НГСО спутники в каждой орбитальной плоскости распределены равномерно, одно и то же геометрическое расположение НГСО спутников будет повторяться с периодом, равным  $T_{НГСО}/N_s$  (где  $N_s$  представляет собой количество НГСО спутников, равномерно распределенных по плоскости). На основе этих положений суммарный уровень п.п.м. (суммированный для всех видимых НГСО спутников) в испытательной точке на ГСО будет повторяться с этим же периодом.

РИСУНОК 1

Геометрия ГСО/НГСО группировки для вычисления п.п.м.:  $\Delta\Omega = 0^\circ$



1256-01

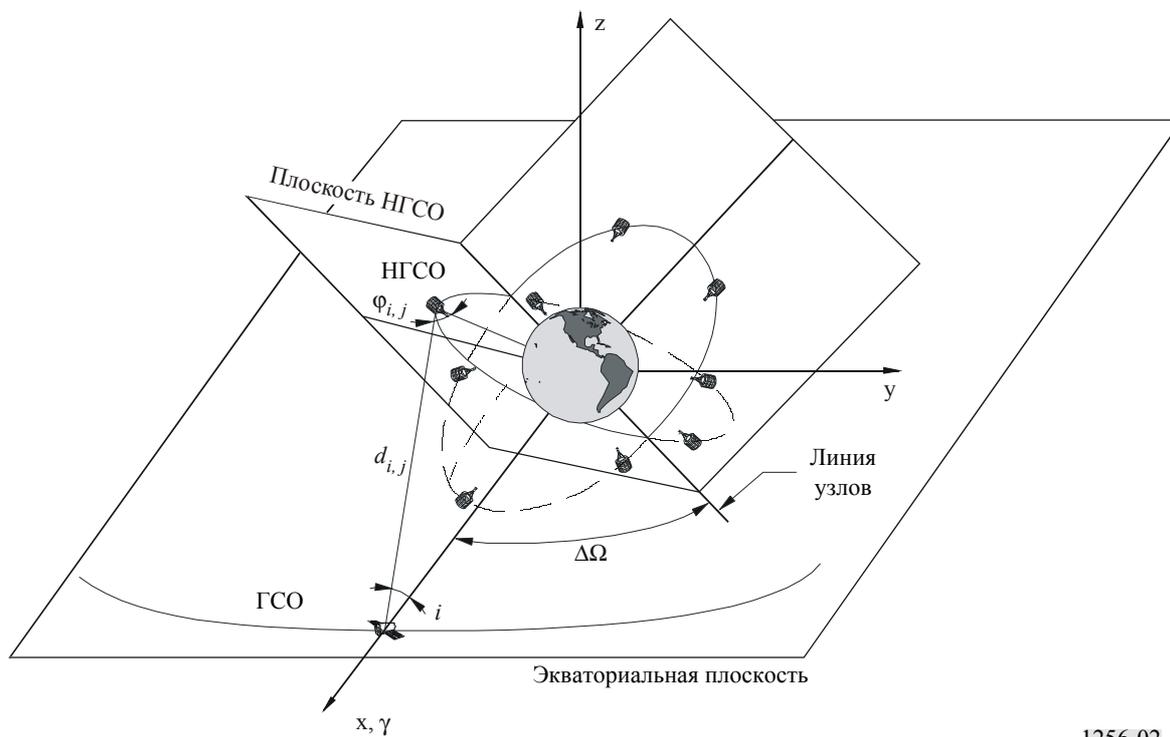
Для каждого отрезка времени можно рассчитать п.п.м., а максимальная суммарная п.п.м. для выбранной испытательной точки на ГСО можно получить за период моделирования от  $T_0$  до  $T_0 + T_{НГСО}/N_s$ .

Значение, полученное для конкретной точки на ГСО на рисунке 1, не обязательно будет максимальным уровнем п.п.м. Для того чтобы определить максимально возможный уровень суммарной п.п.м., эта процедура может быть выполнена для других точек ГСО при увеличении угла  $\Delta\Omega$  (см. рисунок 2) между испытательной точкой на ГСО и линией, соединяющей узлы НГСО. Этот второй итерационный процесс будет выполняться для углов  $\Delta\Omega$  от  $0^\circ$  до  $\Delta\Omega_{max} = 360^\circ/N_p$ , где  $N_p$  – количество орбитальных плоскостей НГСО спутника. Если  $N_p$  – четное (как для ОЗО-F и ОЗО-D), то  $\Delta\Omega_{max} = 180^\circ/N_p$ .

Этот метод можно также использовать для любой НГСО группировки, которая не удовлетворяет вышепоказанным орбитальным требованиям (например, распределение спутников на орбите – неравномерное, эллиптические орбиты). В таких случаях моделирование будет выполнено для времени, равного минимальному периоду повторения конфигурации группировки, которое во многих случаях равно периоду вращения группировки  $T_{НГСО}$ .

В § 2 приведены все основные уравнения, необходимые для получения суммарного уровня п.п.м., создаваемой данной НГСО сетью в данной испытательной точке на ГСО, а на рисунке 3 показан алгоритм программной реализации описанной здесь методологии.

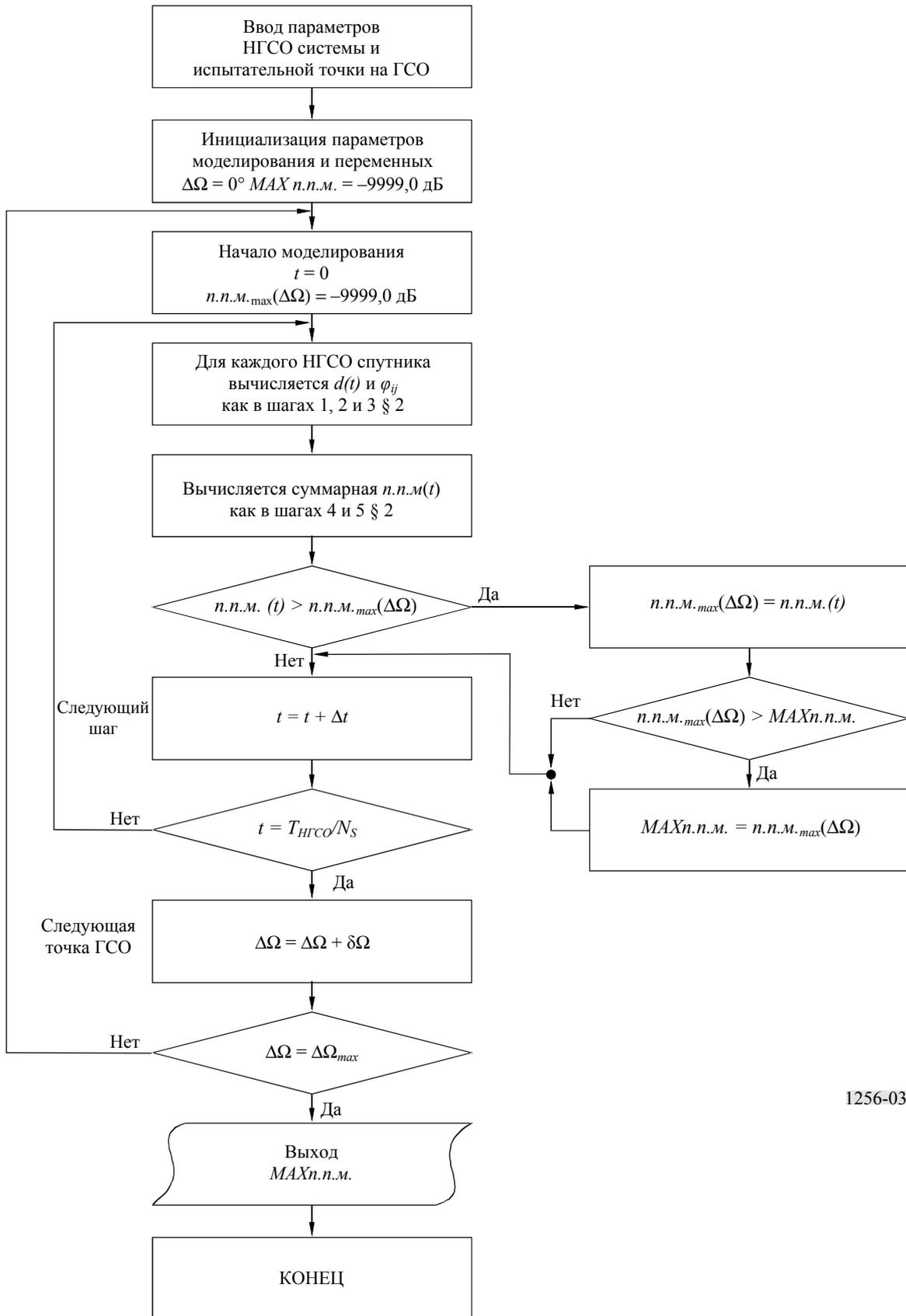
РИСУНОК 2

Геометрия ГСО/НГСО группировки для вычисления п.п.м.:  $\Delta\Omega \neq 0^\circ$ 

1256-02

РИСУНОК 3

## Последовательность операций методологии



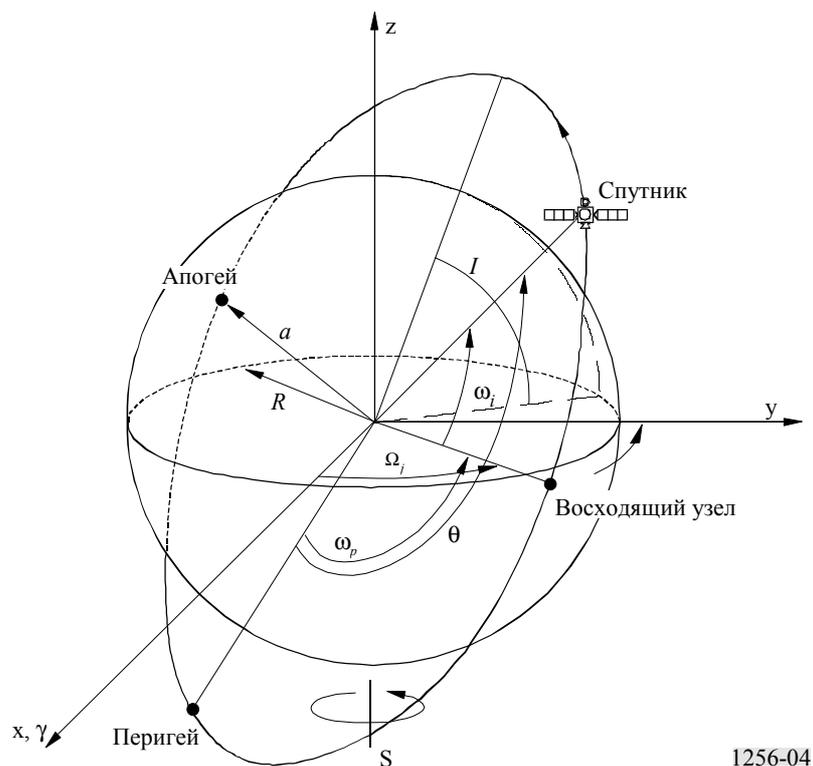
1256-03

## 2 Основные шаги моделирования

Шаг 1: Орбитальная позиция НГСО спутников

РИСУНОК 4

Негеостационарная орбита и эталонные системы



1256-04

На рисунке 4 показаны различные параметры, значения которых необходимо знать для полноценной оценки любого из моментов позиции любого НГСО спутника на его орбите. Эти параметры перечислены в § А.3 vii) Приложения 1 к Резолюции 46 (Пересм. ВКР-95):

- $a$  : большая полуось, для круговой орбиты большая полуось является постоянной и равна радиусу орбиты
- $I$  : наклон орбиты относительно экваториальной плоскости
- $\Omega_j$  : прямое восхождение восходящего угла для  $j$ -той орбитальной плоскости, измеренное против часовой стрелки в экваториальной плоскости от направления точки весеннего равноденствия на точку, где спутник пересекает экваториальную плоскость, переходя из южного полушария в северное ( $0^\circ \leq \Omega_j < 360^\circ$ )
- $\omega_p$  : аргумент перигея, для круговой орбиты перигей равен апогею и, следовательно,  $\omega_p$  можно приравнять  $0^\circ$
- $\omega_i$  : первоначальный фазовый угол  $i$ -го спутника на его орбитальной плоскости в эталонный момент времени  $t = 0$ , измеренный от точки восходящего узла ( $0^\circ \leq \omega_i < 360^\circ$ )
- $\theta$  : истинная аномалия спутника.

Для группировки НГСО спутников, использующих круговые орбиты,  $a$  и  $I$  будут постоянными, а  $\omega_p$  будет равен нулю, при этом изменение позиции каждого спутника будет определяться параметрами  $\Omega$  и  $\theta$ .

Для круговой орбиты угловая скорость спутника постоянна, следовательно, угловая позиция спутника равна его истинной аномалии и вычисляется как:

$$\theta(t)_{i,j} = \frac{360^\circ}{T} t + \omega_{i,j} \quad (1)$$

для  $i = 1-N_s$  и  $j = 1-N_p$ , где  $N_s$  – количество спутников в каждой орбитальной плоскости,  $N_p$  – количество орбитальных плоскостей, а  $T$  – орбитальный период в секундах, вычисляемый как:

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

где  $\mu$  – геоцентрическая гравитационная постоянная, равная  $3,986 \text{ E}14(\text{м}^3\text{с}^{-2})$ .

Различные значения  $\Omega_j$  будут зависеть от геометрии группировки и будут внесены в множество элементов, содержащихся в § А.3 vii) Приложения 1 к Резолюции 46 (Пересм. ВКР-95). Тот же принцип применяется к значениям  $\omega_{i,j}$ .

Зная для каждого спутника истинную аномалию  $\theta_{i,j}(t)$  и прямое восхождение восходящего узла  $\Omega_j$ , можно вычислить его геоцентрические координаты:

$$x(t)_{i,j} = a \left[ \cos \Omega_j \cos \theta(t)_{i,j} - \cos I \sin \Omega_j \sin \theta(t)_{i,j} \right] \quad (3)$$

$$y(t)_{i,j} = a \left[ \sin \Omega_j \cos \theta(t)_{i,j} + \cos I \cos \Omega_j \sin \theta(t)_{i,j} \right] \quad (4)$$

$$z(t)_{i,j} = a \left[ \sin I \sin \theta(t)_{i,j} \right]. \quad (5)$$

Положение испытательной точки ГСО относительно линии узлов НГСО группировки определяется параметром  $\Delta\Omega$  (см. § 1). Отсюда в уравнениях (3), (4) и (5)  $\Omega_j = \Omega_{j,0} + \Delta\Omega$ , где  $\Delta\Omega$  лежит в пределах от 0 до  $\Delta\Omega_{max}$  (см. § 1) и  $\Omega_{j,0} = \Omega_j$  для  $\Delta\Omega = 0$ .

*Шаг 2:* Расстояние между НГСО спутником и испытательной точкой на ГСО

$x_{ГСО}$ ,  $y_{ГСО}$  и  $z_{ГСО}$  представляют собой геоцентрические координаты испытательной точки ГСО, вычисленные как:

$$x_{ГСО} = a_{ГСО} \cdot \cos I_{ГСО} \quad (6)$$

$$y_{ГСО} = 0 \quad (7)$$

$$z_{ГСО} = a_{ГСО} \cdot \sin I_{ГСО}, \quad (8)$$

где:

$a_{ГСО}$ : большая полуось геостационарной орбиты (42 164 км)

$I_{ГСО}$ : наклон геостационарной орбиты ( $-5^\circ \leq I_{ГСО} \leq 5^\circ$ ).

Эти уравнения остаются постоянными во время моделирования, хотя проще изменять  $\Omega_j$  в уравнениях (3), (4) и (5) путем увеличения сдвига  $\Delta\Omega$ .

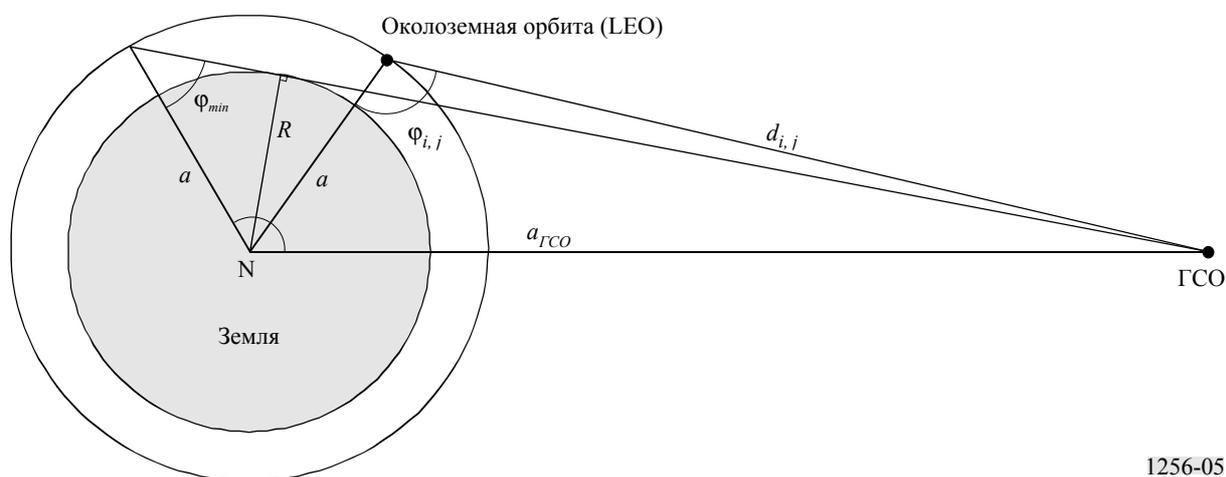
Теперь расстояние между НГСО спутником и позицией испытательной точки на ГСО может быть вычислено с использованием теоремы Пифагора:

$$d(t)_{i,j} = \sqrt{(x_{ГСО} - x(t)_{i,j})^2 + y(t)_{i,j}^2 + (z_{ГСО} - z(t)_{i,j})^2}. \quad (9)$$

Шаг 3: Вычисление внеосевого угла излучения НГСО антенны в направлении на испытательную точку ГСО

На рисунке 5 в виде двумерной диаграммы показана геометрия внеосевого излучения НГСО спутника относительно позиции испытательной точки на ГСО.

РИСУНОК 5

Вычисление  $\varphi_{i,j}$ 

1256-05

Внеосевой угол излучения НГСО антенны можно определить с использованием теоремы Карно (известной под названием теоремы "косинуса"):

$$\varphi(t)_{i,j} = \arccos \left( \frac{a^2 + d(t)_{i,j}^2 - a_{ГСО}^2}{2ad(t)_{i,j}} \right). \quad (10)$$

Шаг 4: Вычисление коэффициента усиления НГСО антенны в боковых лепестках в направлении на испытательную точку ГСО

Зная внеосевой угол излучения, вычисленный в уравнении (10), можно вычислить коэффициенты внеосевого усиления антенны,  $G(\varphi(t)_{i,j})$ , для каждого видимого спутника. Однако, как видно из рисунка 5, это необходимо, только если  $\varphi(t)_{i,j}$  превышает минимальное значение  $\varphi_{min}$ , полученное из:

$$\varphi_{min} = \arcsin (R/a). \quad (11)$$

Шаг 5: Вычисление уровня суммарной п.п.м. в направлении на испытательную точку ГСО

Суммарный уровень п.п.м. можно выразить как:

$$n.p.m.(t) = \frac{P_{пик, 4кГц}}{4\pi} \sum_{i,j=1-N(t)_v} \frac{G(\varphi(t)_{i,j})}{d(t)_{i,j}^2} \text{ для } \varphi(t)_{i,j} \geq \varphi_{min}, \quad (12)$$

где:

$P_{пик, 4кГц}$ : пиковая мощность в наихудшей полосе шириной 4 кГц на входе антенны НГСО спутника, величина которой предполагается постоянной и одинаковой для всех НГСО спутников

$N(t)_v$ : количество ГСО спутников, видимых из испытательной точки на ГСО в момент времени  $t$ .

### 3 Общее количество шагов моделирования и приращений шага моделирования

Для вычисления максимальной суммарной п.п.м. в направлении на ГСО от НГСО сети, времени шага  $\Delta t$  и шага прямого восхождения  $\delta\Omega$  требуются два шага моделирования.

Хотя нет непосредственных сонаправленных помех от НГСО спутников (используют ли они антенны с малым коэффициентом усиления или помехи обусловлены боковыми лепестками передающей антенны), различные варианты моделирования (для LEO-D и LEO-F) показывают, что для получения достоверных результатов достаточно использовать приращение угла с шагом не более  $0,5^\circ$ . Следовательно, вычисление должно выполняться как:

$$\Delta t = \frac{T(s) \times 0,5^\circ}{360^\circ}$$

$$\delta\Omega = 0,5^\circ.$$

Полное время моделирования для каждой испытательной точки ГСО и общее количество испытательных точек ГСО показано в § 1.