

**Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование  
Российской Федерации**

---

**4.3. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ. ФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ**

**Определение плотности потока энергии  
электромагнитного поля в местах  
размещения радиосредств, работающих  
в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц**

**Методические указания  
МУК 4.3.1167-02**

**Минздрав России**

**Москва 2002**

1. Разработаны сотрудниками Самарского отраслевого научно-исследовательского института радио Министерства Российской Федерации по связи и информатизации (Бузовым А. Л., Кольчугиным Ю. И., Кубановым В. П., Романовым В. А., Сподобаевым Ю. М., Филипповым Д. В., Юдиным В. В.).

2. Представлены Минсвязи России письмом от 20.04.01 № НТУ-1/237. Одобрены комиссией по государственному санитарно-эпидемиологическому нормированию при Минздраве России.

3. Утверждены и введены в действие Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 7 октября 2002 года.

4. Введены взамен методических указаний «Определение плотности потока излучения электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 700 МГц - 300 ГГц. МУК 4.3.680-97».

Редакторы Барабанова Т. Л., Максакова Е. В.

Технический редактор Ломанова Е. В.

**СОДЕРЖАНИЕ**

[Область применения](#)



Разработка и экспертиза  
бизнес-планов, ТЭО  
8 (985) 760 - 61 - 43

Размещение рекламы  
в документах:  
[reklama.complexdoc.ru](http://reklama.complexdoc.ru)

[1. Радиосредства](#)

[2. Расчет плотности потока энергии вблизи параболических антенн с круглой апертурой](#)

[3. Расчет плотности потока энергии вблизи параболических антенн с квадратной и прямоугольной апертурой](#)

[4. Расчет плотности потока энергии вблизи антенн типа параболический цилиндр и рупорных антенн](#)

[5. Расчет плотности потока энергии вблизи рупорно-параболической и перископической антенн](#)

[6. Учет влияния решетчатой структуры рефлектора](#)

[7. Расчет плотности потока энергии вблизи вибраторных антенн](#)

[8. Учет влияния подстилающей поверхности \(земли, крыши\)](#)

[9. Инструментальный контроль уровней электромагнитных полей радиосредств](#)

[Приложение 1. Справочный материал для расчета ППЭ вблизи параболической антенны с круглой апертурой](#)

[Приложение 2. Примеры расчета ППЭ вблизи параболической антенны с круглой апертурой](#)

[Приложение 3. Справочные материалы и примеры расчета ППЭ вблизи параболических антенн с квадратной и прямоугольной апертурами](#)

[Приложение 4. Примеры расчета ППЭ вблизи антенн типа параболический цилиндр и рупорных антенн](#)

[Приложение 5. Примеры расчета ППЭ вблизи рупорно-параболической и перископической антенн](#)

[Приложение 6. Пример расчета ППЭ вблизи апертурной антенны с решетчатым рефлектором](#)

[Приложение 7. Примеры расчета ППЭ вблизи вибраторных антенн](#)

[Приложение 8. Перечень приборов, рекомендуемых для измерения ППЭ](#)



[Приложение 9. Рекомендуемое программное обеспечение](#)

[Приложение 10. Список сокращений](#)

УТВЕРЖДАЮ

Главный государственный  
санитарный врач Российской  
Федерации - Первый заместитель  
Министра здравоохранения  
Российской Федерации

Г. Г. Онищенко

7 октября 2002 г.

МУ 4.3.1167-02

Дата введения: с момента  
утверждения

#### 4.3. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ. ФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

**Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц**

**Методические указания**

---

## Область применения

Методические указания содержат изложение методики мониторинга окружающей среды вблизи антенн радиосредств, работающих в различных участках диапазона частот 300 МГц-300 ГГц, по электромагнитному фактору. Являются государственным методическим документом для определения санитарно-защитных зон и зон ограничения застройки, а также для прогнозирования уровней электромагнитного поля при выборе мест размещения радиосредств.



Предназначены специалистам органов и учреждений санитарно-эпидемиологической службы, проектных организаций, операторам связи.

Документ введен взамен МУК 4.3.680-97. Отличается от прежнего документа тем, что распространяется на более широкий класс антенн, содержит рекомендации по учету решетчатой структуры антенного рефлектора, влияния земли и крыши на величину плотности потока энергии в расчетной точке.

Не распространяется на радиосредства базовых станций систем подвижной связи и станций телевизионного вещания.

## 1. Радиосредства

На частотах выше 300 МГц работают различные радиосредства: радиорелейные системы передачи прямой видимости (РРСП ПВ), тропосферные радиорелейные системы передачи (ТРРСП), спутниковые системы передачи (ССП), радиолокационные станции (РЛС).

Передающая часть любого радиосредства имеет антенну - устройство преобразования энергии, вырабатываемой радиопередатчиком, в энергию свободно распространяющихся радиоволн. Наиболее распространенными на практике являются апертурные антенны - вырезки из параболоида вращения (с круглой, квадратной, прямоугольной апертурой), рупорно-параболические антенны, перископические антенные системы, а также вибраторные антенны. Реже (в качестве самостоятельных) применяются рупорные антенны, антенны в виде вырезки из параболического цилиндра. Каждая антенна имеет характерные элементы, определяющие конструкцию. Для антенн, построенных на основе вырезки из параболоида вращения, это рефлектор (зеркало с соответствующей формой апертуры) и облучатель, расположенный, как правило, в фокусе параболоида. Рупорно-параболическая антенна - это единая конструкция в виде двух совмещенных элементов: рупора и несимметричной вырезки из параболоида вращения. Перископическая антенная система имеет три основных элемента: первичный облучатель (как правило, рупорный), нижнее зеркало и верхнее зеркало. Рупорная антенна состоит из отрезка волновода постоянного сечения и собственно рупора, представляющего собой волновод с плавно увеличивающимся сечением. Антенна типа параболический цилиндр - это апертурная антенна с рефлектором в виде параболического цилиндра и линейным источником возбуждения. Антенны вибраторной конструкции - это совокупность активных и пассивных излучателей.

Основными данными, необходимыми для расчета электромагнитной обстановки вблизи радиосредства, являются: мощность передатчика, рабочая частота (длина волны), КНД антенны, пространственное положение и геометрические размеры излучающих элементов.

## 2. Расчет плотности потока энергии вблизи параболических антенн с круглой апертурой

Общие положения. Значение плотности потока энергии (ППЭ) апертурной антенны в произвольной точке пространства (в рамках энергетического подхода к решению задачи) определяется по формуле:

$$P_{\Sigma} = P_a + P_{обл} + P_{диф} + P_{пр}, \text{ где} \quad (2.1)$$

$P_a$  - апертурная составляющая;

$P_{обл}$  - составляющая, определяемая излучением облучателя;

$P_{диф}$  - составляющая, обусловленная токами, протекающими вблизи кромки зеркала (дифракционными токами);

$P_{пр}$  - составляющая, возникающая в результате прохождения энергии сквозь основное зеркало антенны, если оно имеет решетчатую структуру.

Все пространство вблизи антенны условно делится на ряд характерных областей, которые ввиду симметрии показаны на рис. 2.1 только в секторе углов  $0 \leq \theta \leq \pi$ .

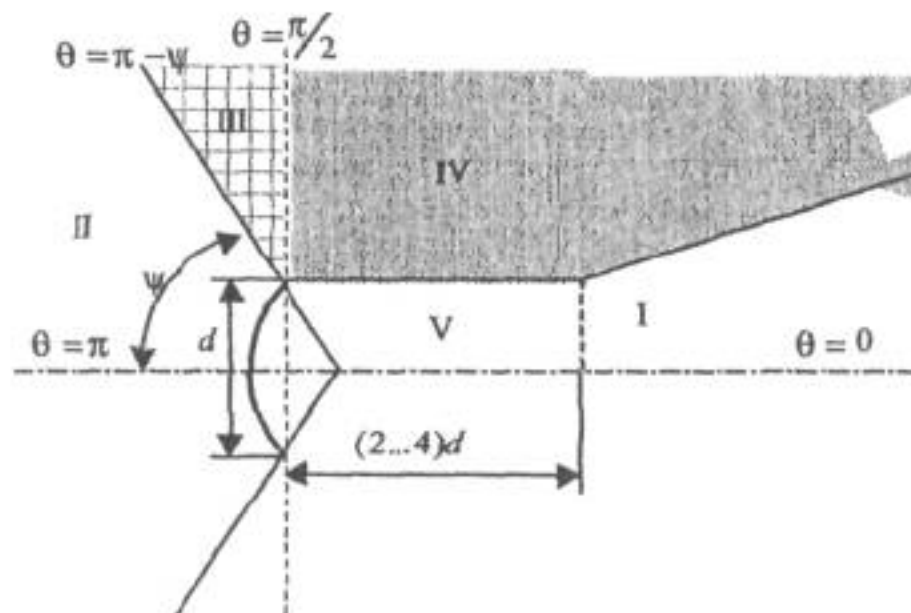


Рис. 2.1. Области анализа ППЭ.

Значение ППЭ в области I определяется апертурной составляющей  $P_a$  и составляющей облучателя  $P_{обл}$ .

В области II - заднем полупространстве антенны - ППЭ определяется составляющей  $P_{диф}$ . Если зеркало выполнено в виде решетчатой структуры, то к дифракционному полю добавится поле, прошедшее в область II сквозь ячейки решетки - составляющая  $P_{пр}$ .

В области III необходимо учитывать составляющие  $P_{обл}$  и  $P_{диф}$ . Область III в заднем полупространстве существует только для длиннофокусных антенн, когда  $\psi \leq \pi/2$ .

В области IV ППЭ определяется в основном составляющими  $P_{обл}$  и  $P_{диф}$ , но следует учитывать и  $P_a$  (особенно вблизи границы раздела областей I и IV).

Область V является областью конструкции антенны и находится внутри гипотетического цилиндра с площадью основания, равной площади апертуры и высотой 2...4 диаметра апертуры (эту область иногда называют областью прожекторного луча).

Используемые допущения:

- амплитудное распределение поля по апертуре задается в виде «параболы на пьедестале»:

$$f(r) = 0,316 + 0,684 \left[ 1 - \left( \frac{2r}{d} \right)^2 \right], \text{ где} \quad (2.2)$$

$r$  - текущее значения координаты на диаметре апертуры,  $d$  - диаметр апертуры;

- облучатель и антенна имеют характеристики направленности с осевой симметрией относительно направлений их максимального излучения;

- характеристика направленности облучателя вне сектора углов перехвата энергии основным зеркалом считается неизменной и равной 0,316 по напряженности поля (по мощности 0,1);

- апертура имеет затенение, характеризуемое коэффициентом затенения  $d_T / d = 0,1$  ( $d_T$  - диаметр «теневого диска»,  $d$  - диаметр апертуры).

**Расчет плотности потока энергии в области I.** Плотность потока энергии в расчетной точке  $M$  (рис. 2.2) представляется в виде двух составляющих:

$$P_{\Sigma} = P_a + P_{обл}, \text{ где}$$

$\Pi_a$  - апертурная составляющая ППЭ (рис. 2.2а);

$\Pi_{обл}$  - составляющая ППЭ, определяемая непосредственно излучением облучателя (рис. 2.2, б).

В предположении осевой симметрии характеристик направленности апертуры и облучателя составляющие ППЭ имеют вид:

$$\Pi_a = \frac{P}{4\pi R^2} D_0 B^2(R) F^2(\theta, R), \text{ Вт/м}^2 \quad (2.3)$$

$$\Pi_{обл} = \frac{P}{4\pi R^2} D_{обл} F^2_{обл}(\gamma), \text{ Вт/м}^2, \quad \text{где} \quad (2.4)$$

$P$  - мощность, излучаемая антенной, Вт;

$D_0$  - КНД антенны в направлении максимального излучения в дальней зоне (величина безразмерная);

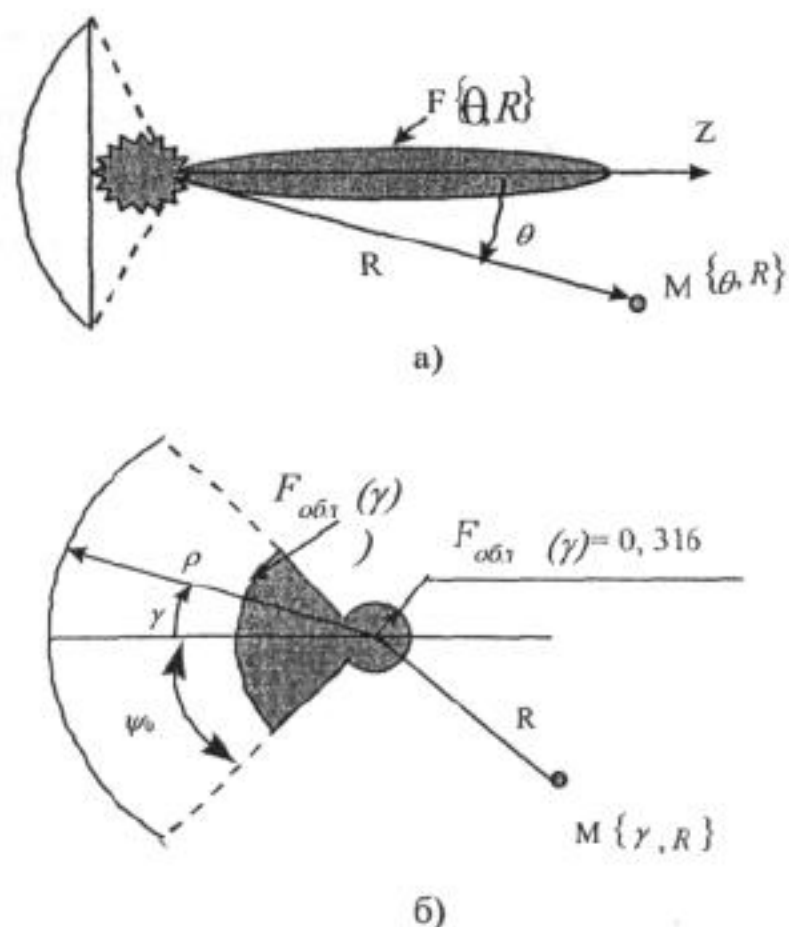
$B^2(R)$  - функция, учитывающая зависимость КНД от расстояния;

$F^2(\theta, R)$  - нормированная характеристика направленности антенны по мощности;

$(\theta, R)$  - сферические координаты расчетной точки;

$D_{обл}$  - КНД облучателя в направлении максимального излучения;

$F^2_{обл}(\gamma)$  - нормированная характеристика направленности облучателя по мощности (угол  $\gamma = 180^\circ - \theta$ ).



**Рис. 2.2.** К расчету апертурной составляющей ППЭ (а) и составляющей ППЭ облучателя (б).

Электрические параметры апертуры - характеристика направленности и КНД - являются функциями расстояния  $R$ , а те же параметры облучателя не зависят от  $R$  - считается, что расчетная точка по отношению к облучателю всегда находится в дальней зоне.

Вводятся переменные:  $u$  - обобщенная угловая координата,  $x$  - относительное расстояние:

$$u = (\pi d \sin \theta) / \lambda, \quad (2.5)$$

$$x = R / R_{zр}, \text{ где} \quad (2.6)$$

$d$  - диаметр апертуры, м;

$\lambda$  - длина волны, м;

$R_{zр} = 2d^2 / \lambda$  - граничное расстояние, начиная с которого можно считать, что расчетная точка находится в дальней зоне.

С учетом введения обобщенных координат выражение (2.3) принимает вид:



$$\Pi_a = \frac{P\lambda^2}{16\pi d^4} D_0 \frac{B^2(x)}{x^2} F^2(u, x), \text{ Вт/м}^2 \quad (2.7)$$

Перевод размерности ППЭ  $\text{Вт/м}^2$  в  $\text{мкВт/см}^2$  осуществляется в (2.7) умножением на 100.

Переход от абсолютных значений величины ППЭ к относительным (децибелам относительно  $1 \text{ мкВт/см}^2$ ) осуществляется по формуле:

$$\Pi_a = 10 \lg \frac{P\lambda^2}{d^4} + 10 \lg D_0 + 20 \lg \left[ \frac{B(x)}{x} \right] + 20 \lg F^2(u, x) + 3, \text{ дБ}, \quad \text{где} \quad (2.8)$$

$B(x)$  - функция, учитывающая изменение КНД в зависимости от относительного расстояния;

$F(u, x)$  - нормированная характеристика направленности апертуры в обобщенных координатах  $u, x$ .

С учетом принятых допущений выражение (2.4) при переходе к относительным значениям (децибелам относительно  $1 \text{ мкВт/см}^2$ ) приводится к виду:

$$\Pi_{\text{обл}} = 10 \lg \frac{P}{4\pi R^2} + 10 \lg D_{\text{обл}} + 10, \text{ дБ}, \quad \text{где} \quad (2.9)$$

Аналитическое выражение функции  $B(x)/x$  для круглой апертуры с амплитудным распределением типа (2.2) имеет вид:

$$\frac{B(x)}{x} = \frac{2b_0}{x(1+\alpha)} \left[ b_1 - 2b_0 c^2 \sin\left(\frac{\pi}{8x}\right) - 2b_2 \cos\left(\frac{\pi}{8x}\right) \right], \quad \text{где} \quad (2.10)$$

$$b_0 = \frac{8x}{\pi}, \quad b_1 = 1 + \alpha^2 + 2b^2_0 c^2, \quad b_2 = \alpha^2 + b^2_0 c^2, \quad c = 1 - \alpha$$

В области  $x < 0,105$  функция (2.10) сильно осциллирующая, а в области  $x > 0,105$  - изменяется монотонно. Осциллирующую часть функции следует заменить огибающей ее максимумов.

На рис. III.1 (приложение 1) приведена функция

$$20 \lg \left[ \frac{B(x)}{x} \right]. \quad \text{В области } x > 1 \text{ функция } 20 \lg \left[ \frac{B(x)}{x} \right] = -20 \lg x.$$

На рис. 2.3 показана круглая апертура с центральным затенением (затенение моделируется отсутствием элементов Гюйгенса в центре апертуры - светлый круг). Поле в точке  $M$  является суперпозицией полей элементов Гюйгенса  $dS$ , расположенных на поверхности раскрыва (апертуре).

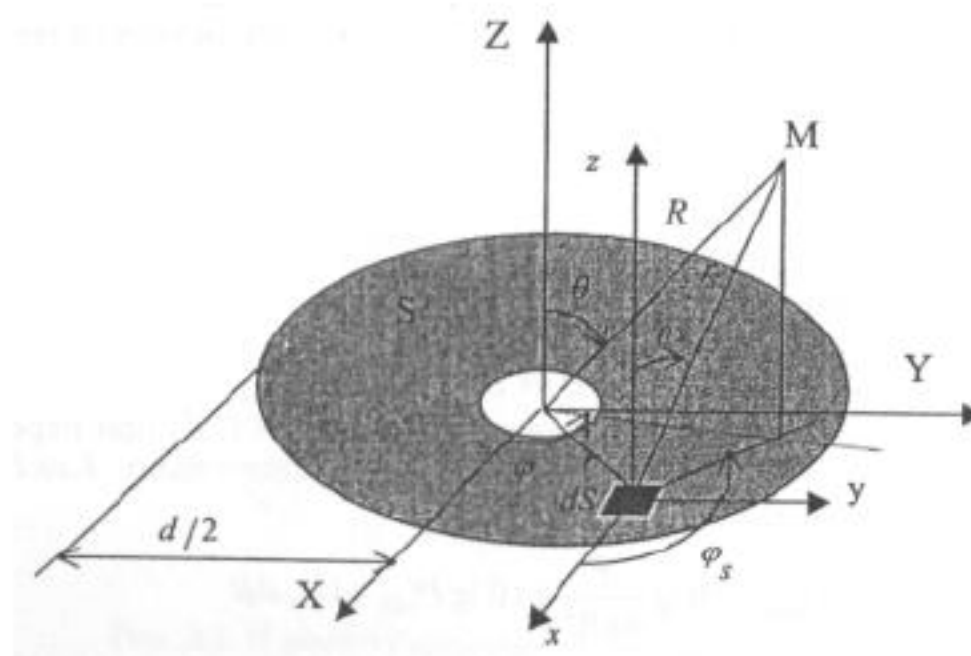


Рис. 2.3. К расчету функции  $F(u, x)$ .

Напряженность электрического поля, создаваемая в расчетной точке  $M$  всей совокупностью элементов Гюйгенса, находящихся в апертуре, определяется следующей формулой:

$$E = \int_s dE_s(\theta, R), \quad \text{где} \quad (2.11)$$

$$dE_s(\theta, R) = -j \frac{E(r) ds}{2\lambda} (1 + \cos \theta_s) \sin \varphi_s \frac{e^{-jk_s}}{r_s}; \quad (2.12)$$

$$E(r) = 1 - 0,684 \left( \frac{2r}{d} \right)^2 \quad (2.13)$$

В (2.12) геометрические параметры  $\theta_s$ ,  $\varphi_s$ ,  $r_s$  являются функциями  $\theta$  и  $R$ .

Нормированная характеристика направленности апертуры имеет вид:

$$F(\theta, R) = \frac{|E(\theta, R)|}{\max |E(\theta, R)|} \quad (2.14)$$

В терминах координат  $u$ ,  $x$  направленные свойства апертуры характеризуются функцией  $F(u, x)$ . Процесс расчета каждой функции  $F(u, x)$  требует значительных вычислительных затрат, которые быстро растут с увеличением отношения  $d/\lambda$ . Функции  $F(u, x)$  сильно осциллирующие, поэтому в практических расчетах ППЭ следует использовать их гарантированные огибающие. Для удобства практических расчетов гарантированные огибающие табулированы (приложение 1, таблицы 1.1 и 1.2). При значениях  $x > 1$ , что соответствует дальней зоне, необходимо пользоваться огибающими для  $x = 1$ .

Значение КНД облучателя рассчитывается по формуле:

$$D_{\text{обл}} = \frac{2}{\int_0^{\pi} F^2_{\text{обл}}(\gamma) \sin \gamma d\gamma}, \quad \text{где} \quad (2.15)$$

$$F_{обл}(\gamma) = \frac{2}{1 + \cos \gamma} \left( 1 - 0,684 \frac{\operatorname{tg}^2 \gamma / 2}{\operatorname{tg}^2 \psi_0 / 2} \right) \text{ для } \gamma \leq \psi_0 \quad (2.16)$$

$$F_{обл}(\gamma) = 0,316 \text{ для } \psi_0 < \gamma \leq \pi$$

· характеристика направленности облучателя, реализующая амплитудное распределение вида (2.2) и обеспечивающая уровень 0,316 вне сектора углов перехвата энергии зеркалом ( $\psi_0 \leq \gamma \leq \pi$ ).

Термин «облучатель» следует понимать, как собственно облучатель в однозеркальной антенне, так и систему «облучатель - вспомогательное зеркало» в двухзеркальной антенне.

График зависимости  $D = 10 \lg D_{обл}$ , как функции аргумента  $\psi_0$  для усредненной модели антенн приведен на рис. [П1.2](#) (приложение 1).

Постановку задачи при расчете ППЭ в области I вблизи антенны с круглой апертурой иллюстрирует рис. [2.4](#), на котором центр апертуры - это  $O$ , а его высота над землей -  $H_A$ . Угол  $\alpha$  характеризует отклонение направления максимального излучения от плоскости горизонта. Ось  $Y$  системы координат  $XYZ$  совмещена с проекцией направления максимального излучения на плоскость  $XOY$ . Горизонтальная плоскость, на которой определяется ППЭ, находится на высоте  $H_T$  над землей. Расчетная точка задается либо через координаты  $\rho_M$  (расстояние до точки  $M$  вдоль поверхности земли) и  $\varphi_M$ , либо через  $y$  и  $x$ .

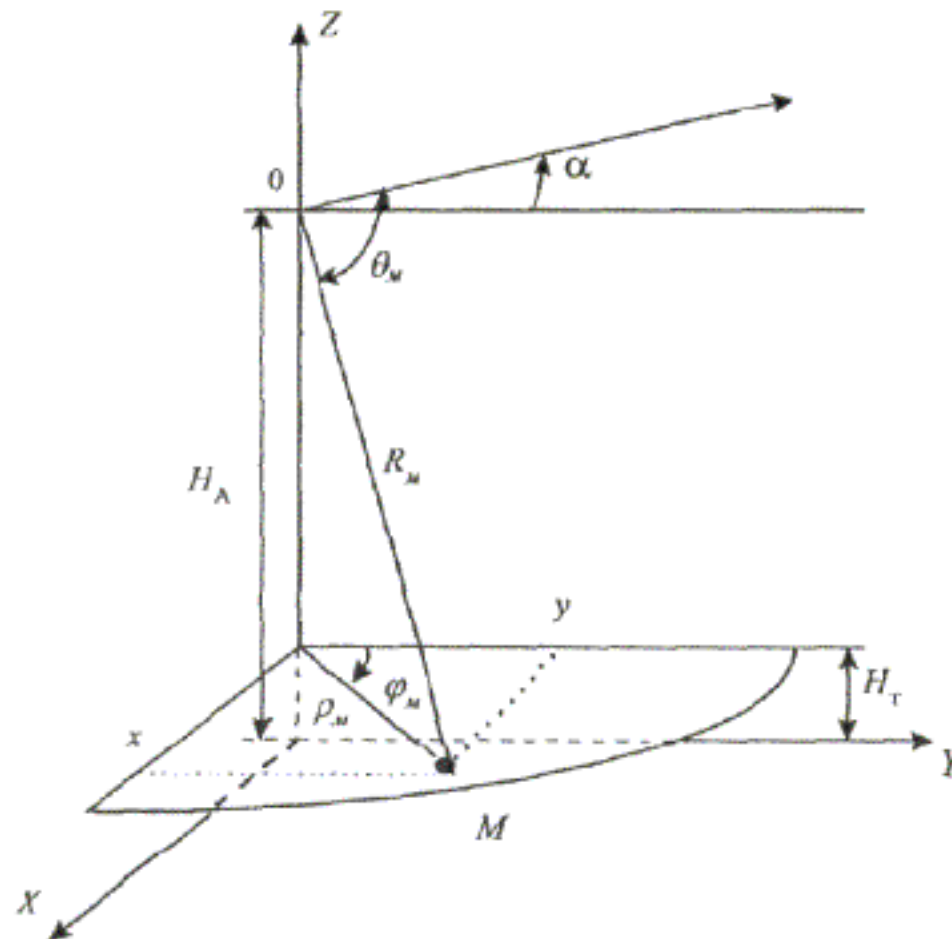


Рис. 2.4. Постановка задачи.

Заданными параметрами считаются:  $P$  - мощность передатчика радиосредства, Вт;  $\lambda$  - длина волны, м;  $d$  - диаметр апертуры, м;  $D_0$  - КНД антенны в направлении максимального излучения в дальней зоне;  $2\psi_0$  - угол раскрытия антенны (угол перехвата энергии облучателя зеркалом).

В области I порядок расчета следующий:

1. Вычисляется расстояние от центра апертуры до расчетной точки  $M$ :

$$R_M = \sqrt{(H_A - H_T)^2 + \rho_M^2} \quad (2.17)$$

2. Рассчитывается угол между направлением максимального излучения и направлением линии «центр апертуры - расчетная точка  $M$ »:

$$\theta_M = \arccos \{ [\rho_M \cos \varphi \cos \alpha - (H_A - H_T) \sin \alpha] / R_M \} \quad (2.18)$$

3. Определяется граничное расстояние  $R_{гр}$ :



[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]



[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]











[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]



[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]







[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]



[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]





Blank lined paper with horizontal ruling lines.



[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]



[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]



[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]







[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]



[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]









Blank lined writing area consisting of 25 horizontal lines. The first 24 lines are full-width, and the final line is shorter, ending approximately halfway across the page.

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]



[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text]

[Redacted text]

A series of 28 horizontal lines for writing, with the final line being shorter than the others.





[Redacted text block]

[Redacted text block]



[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]





