



**Государственная система санитарно-эпидемиологического
нормирования Российской Федерации**

4.3. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ. ФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

**Определение плотности потока мощности
электромагнитного поля в местах размещения
радиосредств, работающих в диапазоне частот
700 МГц - 30 ГГц**

Методические указания

МУК 4.3.043-96

Госкомсанэпиднадзор России

Москва

1996

1. Разработаны сотрудниками Самарского отраслевого научно-исследовательского института радио Министерства связи Российской Федерации (Бузовым А. Л., Романовым В. А.) и Поволжского института информатики, радиотехники и связи (Кубановым В. П., Сподобаевым Ю. М.).

2. Утверждены и введены в действие Председателем Госкомсанэпиднадзора России - Главным Государственным санитарным врачом Российской Федерации 2 февраля 1996 г.

3. Представлены Министерством связи России (№ 6109 от 23.11.95).

4. Введены впервые.



СОДЕРЖАНИЕ

[1. Область применения](#)

[2. Сущность метода](#)

[3. Краткая характеристика источников излучения](#)

[4. Методика расчета плотности потока мощности апертурных антенн](#)

[5. Порядок расчета плотности потока мощности в произвольной точке горизонтальной плоскости](#)

[6. Примеры расчета](#)

[7. Инструментальный контроль уровней электромагнитных полей технических средств РРСП ПВ, ТРРСП и ССП](#)

[Список сокращений и обозначений](#)

"УТВЕРЖДАЮ"

Председатель Государственного
комитета санитарно-
эпидемиологического надзора
Российской Федерации -
Главный Государственный
санитарный врач Российской
Федерации

Е.Н. Беляев

2 февраля 1996 года

МУК 4.3.043-96

Дата введения: с момента
утверждения.



4.3. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ. ФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

Определение плотности потока мощности электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 700 МГц - 30 ГГц

Методические указания

1. Область применения

Методические указания составлены в помощь инженерам органов и учреждений санитарно-эпидемиологической службы, инженерно-техническим работникам, проектным организациям средств связи с целью обеспечения предупредительного санитарного надзора за источниками излучения технических средств радиорелейных систем прямой видимости (РРСП ПВ), тропосферных радиорелейных систем (ТРРСП) и спутниковых систем (ССП) радиовещания, телевидения и радиосвязи диапазона частот 700 МГц - 30 ГГц, определения границ санитарно-защитных зон и зон ограничения застройки, а также для прогнозирования уровней электромагнитного поля (ЭМП) при выборе мест размещения этих средств.

2. Сущность метода

Названные системы предназначены для передачи различных сообщений и работают, как правило, в непрерывном режиме. Конструкции антенн довольно разнообразные, но практически все они относятся к классу апертурных. Все апертурные антенны имеют многолепестковые диаграммы направленности (ДН), что определяет сложную структуру электромагнитного поля (ЭМП) вблизи радиотехнических объектов (РТО).

Методика расчетного прогнозирования электромагнитных полей вблизи технических средств радиорелейных и спутниковых систем передачи базируется на строгих решениях соответствующих электродинамических задач. Основные положения методики и расчетные формулы приведены в [разделе 4](#).



Методические указания содержат методику расчетного прогнозирования плотности потока мощности электромагнитного поля излучающих технических средств радиосвязи, радиовещания и телевидения в диапазоне частот 700 МГц-30 ГГц, а также методику измерений уровней электромагнитного поля.

3. Краткая характеристика источников излучения

3.1. Некоторые частотные и энергетические характеристики типового оборудования, а также геометрические и электрические параметры антенн РРСП ПВ приведены в [табл. 3.1](#).

3.2. В [табл. 3.1](#) использованы общепринятые обозначения антенн: РПА - рупорно-параболическая антенна; АДЭ - антенна двухзеркальная с эллиптическим переизлучателем (число после аббревиатуры- диаметр апертуры в метрах); ПАС - перископическая антенная система; ПА - параболическая антенна.

3.3. Антенну РПА можно рассматривать как квадратную апертуру с размерами $2,7 \times 2,7 \text{ м}^2$.

Антенна АДЭ имеет несколько модификаций, отличающихся диаметром и углом раскрыва основного зеркала: АДЭ-5, АДЭ-3,5 и АДЭ-2,5.

У основной модификации ПАС апертуру верхнего зеркала можно считать кругом с диаметром 3,9 м.

3.4. Некоторые частотные и энергетические характеристики типового оборудования, а также геометрические и электрические параметры антенн ТРРСП приведены в [табл. 3.2](#).

3.5. Некоторые частотные и энергетические характеристики типового оборудования земных станций ССП, а также геометрические и электрические параметры их антенн приведены в [табл. 3.3](#).

3.6. Антенны РРСП ПВ, ТРРСП и ССП по принципу действия рассматриваются как излучающие отверстия (апертуры) круглой или квадратной формы. Площадь апертуры существенно превышает квадрат длины волны излучаемого ЭМП.



Таблица 3.1

Характеристика типового оборудования РРСП ПВ

№ № п.п.	Тип РРСП	Средняя длина волны, см	Мощность передатчика одного ствола, Вт	Тип антенны	Диаметр апертуры м	Коэфф. усилен дБ
1.	Рассвет-2	8,2	5	РПА	-	39,5
2.	Восход	8,2	10	РПА	-	39,9
3.	Курс-2м	15,8	1,6	АДЭ-5	5	37,9
4.	Курс-4	8.2	0,5	РПА	-	39,5
				АДЭ-5	5	43,5
				АДЭ-3,5	3,5	40,7
				ПАС	3,9	40
5.	Курс-6	5,07	7,5	РПА	-	43
				АДЭ-3,5	3,5	44,8
				ПАС	3,9	40
6.	Курс-8	3,7	0,4	АДЭ-2,5	2,5	44
				ПАС	3,9	43



7.	Радуга-4	8,2	4	РПА	-	39,5
				АДЭ-5	5	43,5
				АДЭ-3,5	3,5	40,7
				ПАС	3,9	40
8.	Радуга-6	5,07	3	РПА	-	43
				АДЭ-3,5	3,5	44,8
				ПАС	3,9	40
9.	Ракита-8	3,7	0,6	АДЭ-2,5	2,5	44
				ПАС	3,9	43
10.	Радан	2,7	0,1	ПА	1,5	45
11.	Комплекс-5М	2,7	0,5	ПА	1,5	45

Таблица 3.2

Характеристика типового оборудования ТРРСП

№ № п.п.	Тип ТРРСП	Средняя длина волны, см	Мощность, Вт и число передат.	Тип антенны	Размер апертуры м	Коэфф. усилен дБ
-------------	--------------	-------------------------------	-------------------------------------	----------------	-------------------------	------------------------



1.	Горизонт-М	30	$3 \cdot 10^3 \cdot 2$	НПА	20'20	43
2.	ТР-120	30	$5 \cdot 10^3 \cdot 2$		30'30	47
3.	ДТР-12	30	$10^4 \cdot 2$			

Примечание: В таблице 3.2. использовано обозначение: НПА - несимметричная параболическая антенна.

Таблица 3.3

Характеристика типового оборудования ССП

№ № п.п.	Тип ССП	Средняя длина волны	Мощность передатчика одного ствола, Вт	Тип антенны	Диаметр апертуры м	Коэфф. усилен дБ
1.	Орбита-2	5	10^4	2-х зерк.	12	52
2.	Марс	5	$3 \cdot 10^3$	Кассегрена	7	50

3.7. Данные, приведенные в [табл. 3.1](#) и [3.3](#), не следует считать исчерпывающими и неизменными. Излагаемая ниже методика оценки ППМ позволяет легко справиться с задачей, если даже речь будет идти об апертурной антенне иной конструкции.

4. Методика расчета ППМ апертурных антенн

4.1. Плотность потока мощности, создаваемая апертурной антенной в расчетной точке ([рис. 1](#)) определяется по формуле:



$$\Pi = \Pi_A + \Pi_{\text{Обл}}, \text{ Вт/м}^2 \quad (4.1)$$

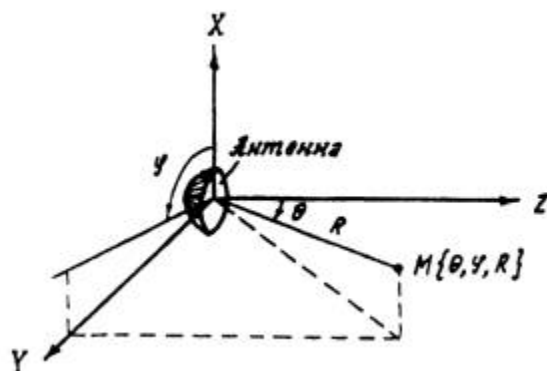


Рис. 1. Взаимное расположение антенны и точки наблюдения

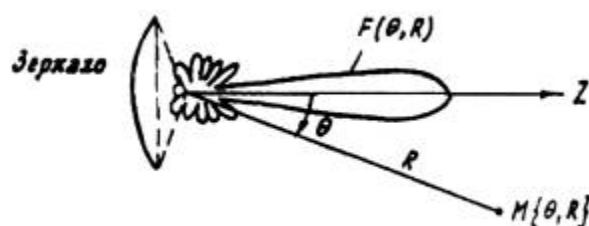


Рис. 2. К расчету составляющей ППМ - Π_A

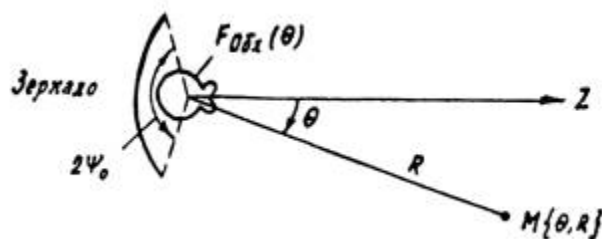


Рис. 3. К расчету составляющей ППМ - $\Pi_{\text{Обл}}$

где, Π_A - апертурная составляющая ППМ ([рис. 2](#)):

$\Pi_{\text{Обл}}$ - составляющая ППМ, определяемая непосредственно излучением облучателя ([рис. 3](#)).



4.2. В предположении осевой симметрии ХН облучателя и антенны ППМ не зависит от координаты j . При этом составляющие Π_A и $\Pi_{Обл}$ записываются в виде

$$\Pi_A = \frac{P}{4\pi R^2} D_0 B^2(R) F^2(\Theta, R), \text{ Вт/м}^2 \quad (4.2)$$

$$\Pi_{Обл} = \frac{P}{4\pi R^2} D_{Обл} F_{Обл}^2(\Theta), \text{ Вт/м}^2 \quad (4.3)$$

где, P - мощность, излучаемая антенной, Вт;

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

$B^2(R)$ - функция, учитывающая изменение КНД по мере перехода расчетной точки из ближней зоны в волновую (величина безразмерная);

$F^2(\Theta, R)$ - нормированная ХН антенны по мощности (величина безразмерная);

$D_{Обл}$ - КНД облучателя в направлении его максимального излучения (величина безразмерная);



$F_{\text{обл}}^2(\Theta)$ - нормированная ХН облучателя по мощности (величина безразмерная);

Θ, R - сферические координата расчетной точки.

Существенно отметить, что КНД и ХН апертуры являются функциями расстояния R , а эти же параметры облучателя не зависят от R , т.к. расчетная точка по отношению к облучателю всегда находится в волновой зоне.

4.3. Закон распределения амплитуды поля по апертуре принят в виде:

- для круглой апертуры

$$f(r) = \alpha + (1 - \alpha) \left[1 - (2r/d)^2 \right] \quad (4.4)$$

- для квадратной апертуры

$$f(\tau) = \alpha + (1 - \alpha) \cos(\pi \tau / a) \quad (4.5)$$

где, $a = 0,316$;

r - текущее значение координаты на диаметре апертуры;

t - текущее значение координата вдоль любой стороны квадрата;

a - сторона квадрата.



4.4. Вне углов сектора перехвата энергии облучателя зеркалом функция

$F_{\text{обл}}(\Theta)$, считается неизменной и равной 0,316. Следовательно в этом случае

$$F_{\text{обл}}^2(\Theta) = 0,1.$$

С учетом этого [формула \(4.3\)](#) записывается в таком виде:

$$\Pi_{\text{обл}} = \frac{P}{4\pi R^2} D_{\text{обл}}, \quad \text{Вт/м}^2 \quad (4.6)$$

4.5. Методика расчета ХН антенны предполагает использование переменных и u и x , которые записываются в виде:

$u = (\pi d \sin \Theta) / \lambda$ для круглой апертуры,

$u = (\pi a \sin \Theta) / \lambda$ для квадратной апертуры,

$$x = R/R_{\text{зр}} \quad (4.8)$$

где d диаметр апертуры, м;



λ - длина волны, м;

$$R_{из} = 2d^2 / \lambda \quad \text{для} \quad \text{круглой} \quad \text{апертуры;} \quad (4.9)$$

$$R_{из} = 2a^2 / \lambda \quad \text{для} \quad \text{квадратной} \quad \text{апертуры.} \quad (4.10)$$

Переменные u и x принято называть обобщенными координатами. Величину x часто называют относительным расстоянием.

4.6. С учетом введения обобщенных координат u и x [формула \(4.2\)](#) приводится к виду

$$P_A = \frac{P\lambda^2}{16\pi d^4} D_0 \frac{B^2(X)}{X^2} F^2(U, X), \text{ Вт/м}^2 \quad (4.11)$$

4.7. Перевод размерности ППМ Вт/м² в мкВт/см² осуществляется умножением выражений [\(4.6\)](#) и [\(4.11\)](#) на 100.

4.8. Переход от абсолютных значений размерности ППМ к относительным (децибелам относительно 1 мкВт/см²) позволяет записать выражения [\(4.6\)](#) и [\(4.11\)](#) в виде:



$$\Pi_A = 10 \lg \frac{P \lambda^2}{d^4} + 10 \lg D_0 + 20 \lg \frac{B(X)}{X} + 20 \lg F(u, x) + 3, \quad \text{дБ} \quad (4.12)$$

$$\Pi_{\text{обл}} = 10 \lg \frac{P}{4\pi R^2} + 10 \lg D_{\text{обл}} + 10, \quad (4.13)$$

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

$F(u, x)$ - нормированная ХН в координатах u, x .

Прочие величины, входящие в (4.12) и (4.13) определены выше.

Формула (4.12) справедлива как для круглой апертуры, так и для квадратной. В случае ее применения для квадратной апертуры в знаменателе первого слагаемого параметр d (диаметр) заменяется на

a (сторона квадрата).

4.9. Функция

$20 \lg [B(x)/x]$ в области $x < 0,2$ является осциллирующей. При $x > 0,2$ она изменяется монотонно. В силу специфики задачи оценки ЭМО осциллирующая часть функции заменяется огибающей ее максимумов. На [рис. 4](#) и [рис. 5](#) приведена эта функция соответственно для антенн с круглой и квадратной апертурами. В области $x > 1$



$$20\lg[B(x)/x] = -20\lg x.$$

4.10. Функция

$F(u, x)$ сильно осциллирующая. Графики гарантированных огибающих ХН антенн с круглой апертурой для фиксированных значений x приведены на [рис. 6](#) и [рис. 7](#). По оси ординат отложены значения $F_{\text{дБ}} =$

$$F(u, x)_{\text{дБ}}.$$

Аналогичные кривые для антенн с квадратной апертурой приведены на [рис. 8](#) и [рис. 9](#).

4.11. Функция

$F(u, x)$ рассчитывалась апертурным методом - численным интегрированием полей элементарных излучателей (элементов Гюйгенса), расположенных по всей апертуре. В случае круглой апертуры учитывалось затенение апертуры облучателем. Учет затенения осуществлялся исключением интегрирования полей элементов Гюйгенса, расположенных в центре апертуры внутри круга с диаметром d_r . В методике принято, что коэффициент затенения $d_r/d = 0,1$ (d_r - диаметр "теневого диска", d - диаметр апертуры).

4.12. Графики гарантированной огибающей для различных x , приведенные на [рис. 6](#) и [рис. 9](#), являются универсальными, т.е. они справедливы для апертур любых размеров при условии, что линейные размеры антенны существенно превышают длину волны.

4.13. Величина $D_{\text{обл, дБ}} = 10 \lg D_{\text{обл}}$ определяется ХН облучателя. По выбранному закону распределения поля по



апертуре (4.4) или (4.5), используя геометрические характеристики зеркала d и y_0 , можно записать аналитическое выражение

$F_{\text{обл}}(\Theta)$ в секторе углов перехвата энергии зеркалом. Вне этого сектора

$F_{\text{обл}}(\Theta) = \text{const} = 0,316$. График зависимости

$F_{\text{обл}}(\psi_0)$ приведен на [рис. 10](#).

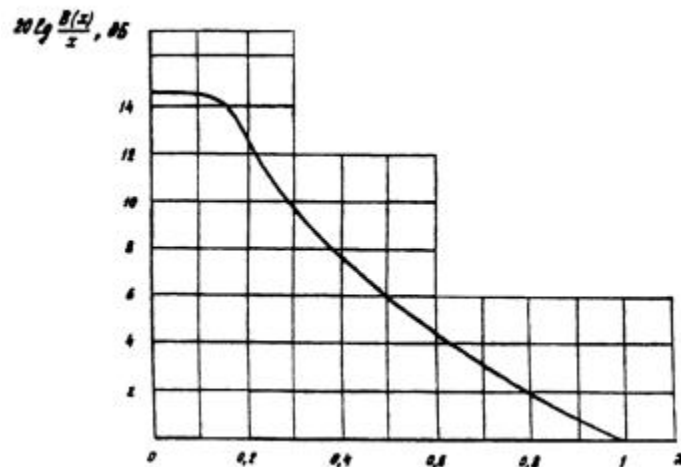


Рис. 4. График функции

$20 \lg [B(x)/x]$ для круглой апертуры



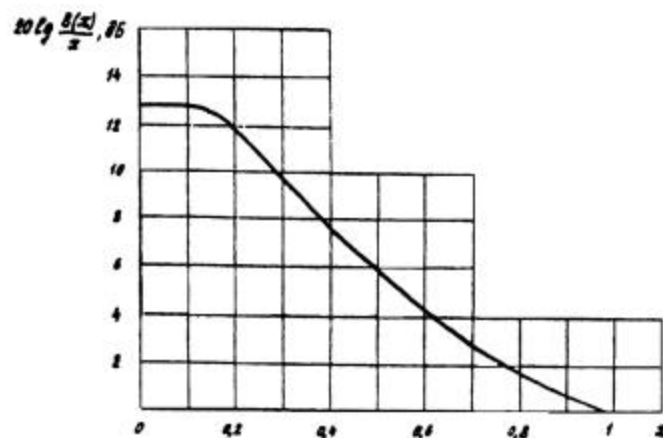


Рис. 5. График функции

$20\lg[B(x)/x]$ для квадратной апертуры

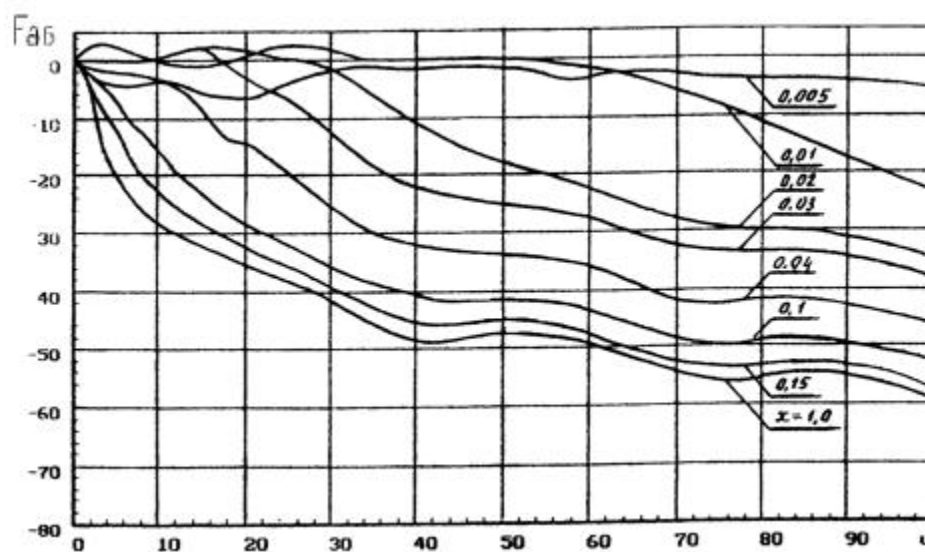


Рис. 6. Гарантированные огибающие ХН круглой апертуры с учетом затенения для $u = 0 \div 100$

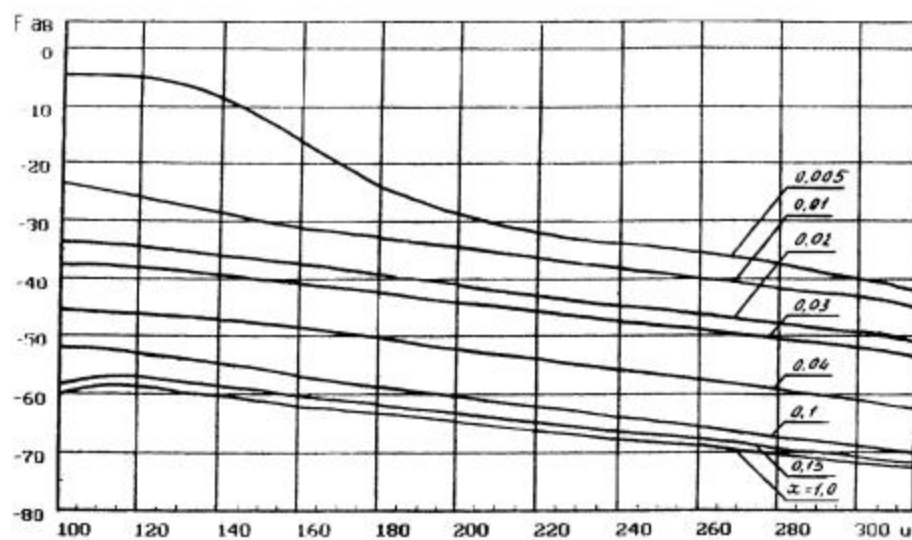


Рис. 7. Гарантированные огибающие ХН круглой апертуры с учетом затенения для $u = 100 \frac{1}{4} 314$

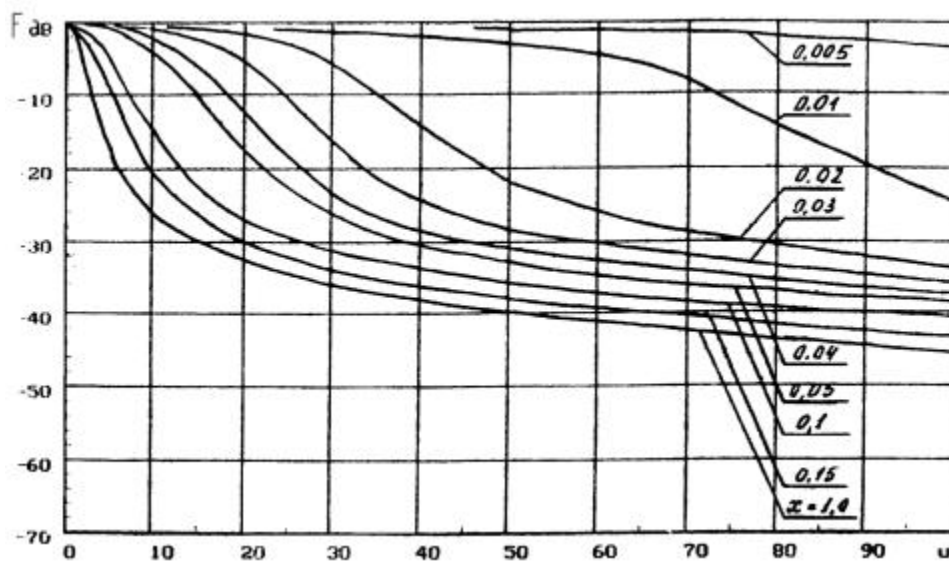


Рис. 8. Гарантированные огибающие ХН квадратной апертуры для $u = 0 \frac{1}{4} 100$



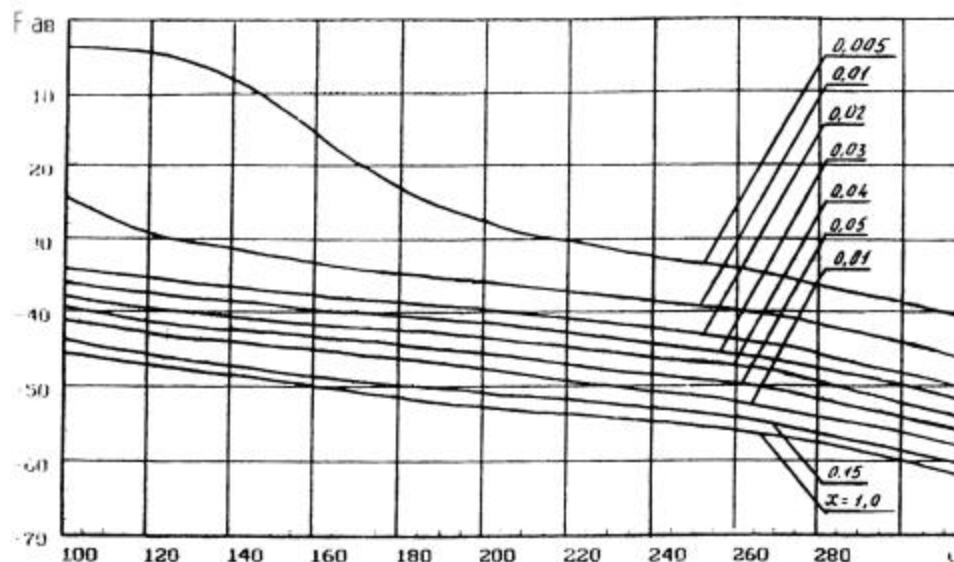


Рис. 9. Гарантированные огибающие ХН квадратной апертуры для $u = 100 \frac{1}{4} 314$

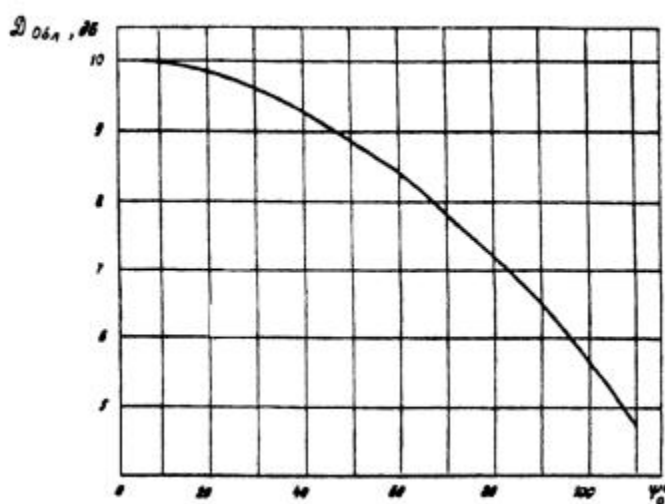


Рис. 10. Зависимость КНД облучателя в направлении максимального излучения от угла

ψ_0

4.14. Термины "облучатель", "ХН облучателя", "КНД облучателя" в методике применяется как собственно к облучателю в однозеркальных ПА, так и к системе "облучатель - вспомогательное зеркало" в двухзеркальных антеннах.



4.15. Ограничение по минимальному удалению расчетной точки от центра апертуры определяется относительным расстоянием $x = 0,005$.

4.16. Ограничение по сектору углов, в котором методика дает возможность расчета ППМ, определяется

ψ_0 :

- при

$\psi_0 \geq 90^\circ$ сектор составляет от 0° до $\pm 90^\circ$;

- при

$\psi_0 < 90^\circ$ сектор составляет от 0° до $\pm(180^\circ -$

$\psi_0)$.

Вне этих секторов в рассматриваемых задачах ППМ считается пренебрежимо малой.

4.17. Дифракционные явления, на кромках зеркала и вспомогательных конструкциях антенны не учитываются.

4.18. Расчет суммарной ППМ осуществляется по формуле:

$$P = 10^{P_{\text{А, дБ}}/10} + 10^{P_{\text{Обл, дБ}}/10}, \quad (4.14)$$

где, $P_{\text{А, дБ}}$ и $P_{\text{Обл, дБ}}$ вычисляются по [формулам \(4.12\)](#) и [\(4.13\)](#).



4.19. При расчетах ЭМО вблизи радиотехнических объектов, в составе которых несколько, антенн, в выбранных точках рассчитывается ППМ от каждой антенны, а полная ППМ находится суммированием ППМ, создаваемых отдельными антеннами.

5. Порядок расчета ППМ в произвольной точке горизонтальной плоскости

5.1. Постановка задачи иллюстрируется [рис. 11](#). Центр апертуры - O , его высота над землей - H_A . Угол α характеризует отклонение направлений максимального излучения от плоскости горизонта. Ось Z системы координат XYZ совмещается с проекцией направления максимального излучения на плоскость YOZ . Горизонтальная плоскость, на которой определяется ППМ, находится на высоте H_T над землей. Расчетная точка задается либо через координаты r_M (расстояние до точки M вдоль поверхности земли) и j_M (азимут), либо через y и z .

Заданными считаются:

P - мощность, излучаемая антенной, Вт;

λ - длина волны, м;

d или a - диаметр или сторона квадрата апертуры, м;

D_0 - КНД антенны в направлении максимального излучения в волновой зоне;

$2\gamma_0$ - угол раскрыва антенны.

Если какие-либо из перечисленных параметров для реальной антенны неизвестны, их, как правило, можно рассчитать, используя соответствующую литературу по антенно-фидерным устройствам.



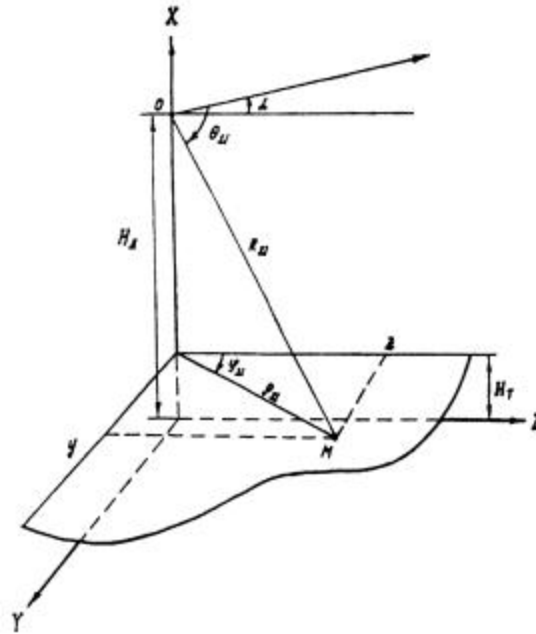


Рис. 11. К расчету ППМ в произвольной точке

5.2. Порядок расчета следующий:

5.2.1. Вычисляется расстояние "центр апертуры - точка наблюдения":

$$R_M = \sqrt{(H_A - H_T)^2 + \rho_M^2}. \quad (5.1)$$

5.2.2. Вычисляется угол между направлением максимального излучения и направлением линии "центр апертуры - точка M":

$$\Theta_M = \arccos \left\{ \left[\rho_M \cos \varphi \cos \alpha - (H_A - H_T) \sin \alpha \right] / R_M \right\} \quad (5.2)$$

5.2.3. По [формулам \(4.9\)](#) или [\(4.10\)](#) определяется граничное расстояние $R_{гр}$.



5.2.4. Определяются параметры u_m и x_m по [формулам \(4.7\)](#) и [\(4.8\)](#) соответственно.

5.2.5. По графикам [рис. 4](#) или [рис. 5](#) находится значение функции

$$20\lg[B(X_m)/X_m] \text{ в дБ. } x$$

5.2.6. По графикам [рис. 6](#) ¹/₄ [9](#) находится значение $F(u_m, x_m)$ в дБ.

5.2.7. Применение [формулы \(4.12\)](#) позволяет получить значение ППМ антенны $П_A$ в дБ.

5.2.8. По графику [рис. 4.10](#) определяется значение $D_{обл.}$ в дБ.

5.2.9. Применение [формулы \(4.13\)](#) позволяет получить значение ППМ облучателя $П_{обл.}$ в дБ.

5.2.10. суммарное значение ППМ рассчитывается по формуле [\(4.14\)](#).

5.2.11. Повторяя операции по п.п. [5.2.1](#) ¹/₄ [5.2.10](#) последовательно для различных точек выбранного азимута ($j_m = \text{const}$), можно определить, во-первых, как меняется ППМ вдоль соответствующего азимута, а, во-вторых, найти ту точку, где ППМ равна ПДУ. Если подобные точки найти на других азимутальных линиях, проведенных, например, через 10° , то геометрическое место таких точек будет границей соответствующей санитарной зоны (СЗЗ или ЗОЗ).

6. Примеры расчета

Пример 1

6.1. Постановка задачи.

Техническое средство - оборудование РРСП ПВ "Радуга-4" на оконечной радиорелейной станции. Работают три радиоствола. Используется антенна АДЭ-5 с углом раскрыва зеркала $2\alpha_0 = 210^\circ$. Антенна находится на высоте 50 м.



Сравнить ППМ в точках M_1 , и M_2 ПДУ ППМ. Точка M_1 расположена в направлении на соседнюю станцию, ее высота над поверхностью земли - 2м. а удаление от основания мачты - 100 м. Точка M_2 расположена на оси мачты, на высоте 30 м. Постановка задачи иллюстрируется [рис. 12](#).

6.2. Порядок решения.

6.2.1. По [табл. 3.1](#) определяются:

- суммарная мощность, излучаемая антенной, $P = 3 \cdot 4 = 12$ Вт (работают 3 ствола, КПД АФТ считается равным 1);

- длина волны $\lambda_{\text{ср}} = 0,082$ м;

- диаметр антенны $d = 5$ м;

- КНД антенны АДЭ-5 $D_{0,\text{дБ}} = 43,5$ дБ.

6.2.2. Расчет ППМ выполняется сначала в точке M_1 , затем в точке M_2 .

Расчет ППМ в точке M_1

6.2.3. Находится расстояние R_M - "центр апертуры - точка M_1 " и угол Q_M :

$$R_M = \sqrt{(H_A - H_T)^2 + \rho_M^2} = \sqrt{(50 - 2)^2 + 100^2} = 111 \text{ м};$$

$$\Theta_M = \arccos\left\{\left[\rho_M \cos \varphi \cos \alpha - (H_A - H_T) \sin \alpha\right] / R_M\right\}.$$

При $j = 0$ и $\alpha = 0$:



$$\Theta_M = \arccos \rho_M / R_M = \arccos 100 / 111 = 25,7^\circ.$$

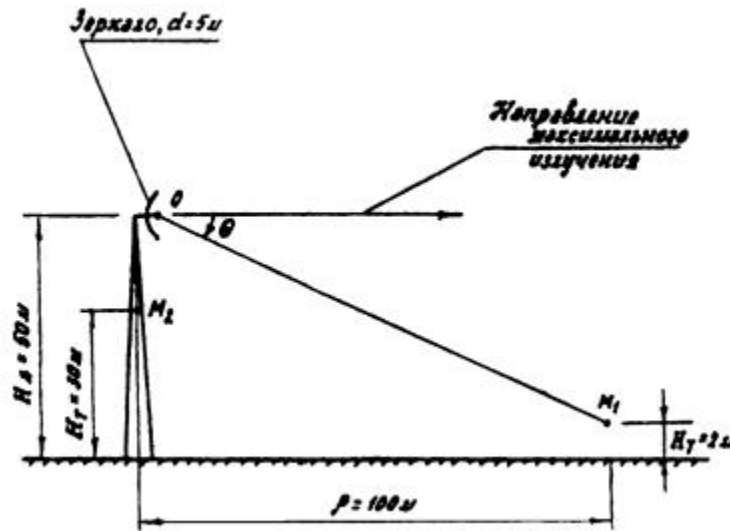


Рис. 12. Иллюстрация к примеру расчета ППМ от антенны РРСП
ПВ

6.2.4. Находится граничное расстояние $R_{гр}$:

$$R_{гр} = 2 d^2 / \lambda = 2 \cdot 5^2 / 0,082 = 610 \text{ м.}$$

6.2.5 Определяются координаты x и u :

$$x = R_M / R_{гр} = 111 / 610 = 0,182,$$

$$u = (\pi d \sin \theta_M) / \lambda = (\pi \times 5 \times \sin 25,7^\circ) / 0,082 = 83.$$

6.2.6. По графикам [рис. 6](#) определяется функция

$$20 \lg F(u, x) = - 55 \text{ дБ}$$

6.2.7. По графику [рис. 4](#) определяется функция



$$20\lg [B(x)/x] = 14,5 \text{ дБ.}$$

6.2.8. По [формуле \(4.12\)](#) рассчитывается Π_A :

$$\Pi_A = 10\lg \frac{P\lambda^2}{d^4} + 10\lg D_0 + 20\lg \frac{B(X)}{X} + 20\lg F(u, x) + 3 =$$

$$= 10\lg (12 \times 0,082^2 / 5^4) + 43,5 = 14,5 - 55 + 3 = -32,9 \text{ дБ.}$$

6.2.9. По графику [рис. 10](#) определяем

$$D_{\text{обл, дБ}} = 10 \lg D_{\text{обл}} = 5 \text{ дБ.}$$

6.2.10. По [формуле \(4.13\)](#) рассчитывается $\Pi_{\text{обл}}$:

$$\Pi_{\text{обл}} = 10\lg (P / 4\pi R_{\text{ж}}^2) + 10\lg D_{\text{обл}} + 10 = 10\lg (12 / 4\pi 111^2) + 5 + 10 = -26,1 \text{ дБ.}$$

6.2.11. По [формуле \(4.14\)](#) рассчитывается суммарная ППМ в точке M_1 :

$$\Pi = 10^{\Pi_{\text{А, дБ}}/10} + 10^{\Pi_{\text{обл, дБ}}/10} = 10^{-3,29} + 10^{-2,61} =$$

$$= 5,13 \times 10^{-4} + 24,55 \times 10^{-4} = 0,003 \text{ мкВт/см}^2.$$

Вывод: ППМ в точке M_1 существенно меньше ПДУ = 10 мкВт/см².



Расчет ППМ в точке М₂

6.2.12. Принимается, что $R_M \gg H_A - H_T = 50 - 30 + 20$ м.

$$Q_M = 90^\circ.$$

6.2.13. Определяются

$$R_{гр} = 2 d^2 / l = 2 \cdot 5^2 / 0,082 = 610 \text{ м},$$

$$x = R_M / R_{гр} = 20 / 610 = 0,032,$$

$$u = (\pi d \sin \theta_{ж}) / \lambda = (\pi \times 5 \times \sin 90^\circ) / 0,082 = 191,6.$$

6.2.14. По графикам [рис. 7](#) определяется функция

$$20 \lg F(u, x) = -42 \text{ дБ}.$$

6.2.15. По графику [рис. 4](#) определяется функция

$$20 \lg [B(x) / x] = 14,5 \text{ дБ}.$$

6.2.16. По [формуле \(4.12\)](#) рассчитывается Π_A :

$$\Pi_A = -38,9 + 43,5 + 14,5 - 42 + 3 = -19,9 \text{ дБ}.$$

6.2.17. По [формуле \(4.13\)](#) рассчитывается $\Pi_{Обл}$ с учетом того, что величина $D_{Обл}$, дБ определена в [п. 6.2.9.](#):

$$\Pi_{Обл} = 10 \lg [12 / (4\pi \times 20^2)] + 5 + 10 = -11,2 \text{ дБ}.$$



6.2.18. По [формуле \(4.14\)](#) рассчитывается суммарная ППМ в точке М₂:

$$П = 10^{-1,99} + 10^{-1,12} = 0,086 \text{ мкВт/см}^2.$$

Вывод: ППМ в точке М₂ существенно меньше ПДУ = 10 мкВт/см².

Пример 2

6.3. Постановка задачи.

Техническое средство - оборудование ТРПС П ТР-120 на оконечной станции. Используются две антенны НПА 30'30 м². Разнос между антеннами 40 м, центры апертур антенн находятся на высоте Н_А = 25 м над землей.

Оценить ППМ в точке М, которая расположена в направлении на соседнюю станцию, а ее высота над землей - 2 м. Удаление точки М от линии проекции антенн на поверхность земли 100 м. Постановка задачи иллюстрируется [рис. 13](#).

6.4. Порядок решения.

6.4.1. По табл. 2.2 определяются

- мощность, излучаемая одной антенной, Р = 5 кВт = 5000 Вт (при КПД АФТ равном 1);

- длина волны l_{ср} = 0,3 м;

- размеры антенны а'а = 30'30 м²;

- КНД антенны D₀, дБ = 47 дБ.

Расчет ППМ выполняется сначала для одной антенны затем для другой. Результаты расчетов ППМ суммируются.



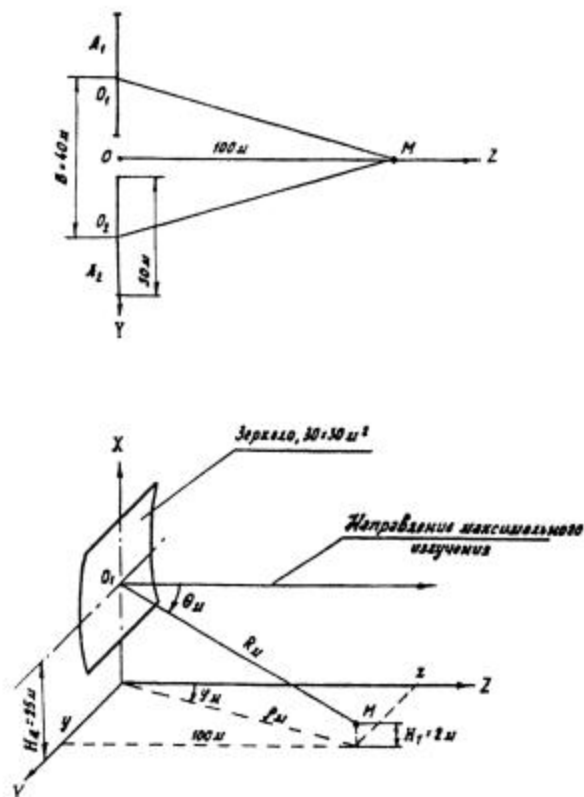


Рис. 13. Иллюстрации к примеру расчета ППМ от антенн ТРПС

Расчет ППМ, создаваемой антенной A1 в точке M

6.4.2. Находится расстояние R_M и угол Q_M :

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

$$\sqrt{(50 - 2)^2 + 100^2} = 111$$

$$= \sqrt{(25 - 2)^2 + 100^2 + 20^2} = 104,5 \text{ м};$$



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

Для

$$\mathcal{U} = 0,$$

$$\varphi = \operatorname{arctg}(y/z) = \operatorname{arctg}(20/100) = 11,31^\circ,$$

$$\rho_M = (z^2 + y^2)^{0,5} = 102 \text{ м}$$

$$\Theta_M = \arccos\{[102 \times \cos 11,31^\circ] / 104,5\} = 16,8^\circ.$$

6.4.3. Находится граничное расстояние $R_{\text{гр}}$:

$$R_{\text{гр}} = 2 a^2 / l = 2 \cdot 30^2 / 0,3 = 6000 \text{ м.}$$

6.4.4. Определяются координаты x и u :

$$x = R_M / R_{\text{гр}} = 104,5 / 6000 = 0,017,$$

$$u = (\pi a \sin \theta_M) / \lambda = (\pi \times 30 \times \sin 16,8^\circ) / 0,3 = 91.$$

6.4.5. По графику [рис. 5](#) определяется функция



$$20\lg[B(x)/x] = 12,6 \text{ дБ.}$$

6.4.6. По графикам [рис. 8](#) определяется функция

$$20\lg F(u, x) = -26 \text{ дБ.}$$

6.4.7. По [формуле \(4.12\)](#) рассчитывается Π_A :

$$\Pi_A = 10\lg \frac{P\lambda^2}{a^4} + 10\lg D_0 + 20\lg \frac{B(X)}{X} + 20\lg F(u, x) + 3 =$$

$$= 10\lg(5000 \times 0,3^2 / 30^4) + 47 + 12,6 - 26 + 3 = 4,05 \text{ дБ.}$$

6.4.8. Угол раскрыва зеркала антенны с размерами $30'30''$ $2\alpha_0$ равен 40° . По графику [рис. 10](#) определяется $D_{\text{обл}}$, дБ:

$$D_{\text{обл}}, \text{ дБ} = 10 \lg D_{\text{обл}} = 9,8 \text{ дБ.}$$

6.4.9. По [формуле \(4.13\)](#) рассчитывается $\Pi_{\text{обл}}$:

$$\Pi_{\text{обл}} = 10\lg(P/4\pi R_m^2) + 10\lg D_{\text{обл}} + 10 =$$

$$10\lg[5000/(4\pi \times 104,5^2)] + 9,8 + 10 = 5,41 \text{ дБ.}$$

6.4.10. По [формуле \(4.14\)](#) рассчитывается ППМ, создаваемая в точке М антенной А₁ - П₁:



$$P_1 = 10^{P_{A, \text{нб}}/10} + 10^{P_{\text{сбнб}}/10} = 10^{0,405} + 10^{0,541} = 2,5 + 3,5 = 6 \text{ мкВт/см}^2.$$

Расчет ППМ, создаваемой антенной A2 в точке M

6.4.11. В силу симметрии расположения точки M относительно антенн A1 и A2 ППМ, создаваемая антенной A2 в точке M, будет равна ППМ, создаваемой в этой точке антенной A1, т.е. $P_1 = P_2 = 6 \text{ мкВт/см}^2$.

Суммарная ППМ в точке M от совокупности антенн A1 и A2 будет равна

$$P = P_1 + P_2 = 6 + 6 = 12 \text{ мкВт/см}^2.$$

Вывод: ППМ в точке M превышает ПДУ ($P > 10 \text{ мкВт/см}^2$).

Пример 3

6.5. Постановка задачи.

Техническое средство - ССП. Передатчик работает на длине волны $\lambda = 0,05 \text{ м}$. Мощность передатчика $P = 3 \text{ кВт}$. Используется антенна Кассегрена с углом раскрыва $2\alpha_0 = 180^\circ$ и $D_0 = 50 \text{ дБ}$. Диаметр апертуры $d = 7 \text{ м}$. Высота центра апертуры над землей $H_A = 6 \text{ м}$. Направление максимального излучения составляет с плоскостью горизонта угол $\alpha = 10^\circ$. Постановка задачи иллюстрируется [рис. 14](#).

6.6. Порядок решения.

6.6.1. Находится расстояние R_M и угол φ_M :

$$R_M = \sqrt{(H_A - H_T)^2 + \rho_M^2} = \sqrt{(7 - 2)^2 + 300^2} \approx 300 \text{ м};$$



$$\Theta_M = \arccos\left\{\left[\rho_M \times \cos \varphi \times \cos \alpha - (H_A - H_T) \times \sin \alpha\right] / R_M\right\} =$$

$$\arccos\left\{\left[300 \times \cos 5^\circ \times \cos 10^\circ - (7 - 2) \times \sin 10^\circ\right] / 300\right\} = 12^\circ.$$

6.6.2. Находится граничное расстояние $R_{гр}$:

$$R_{гр} = 2 d^2 / l = 2 \cdot 7^2 / 0,05 = 1960 \text{ м.}$$

6.6.3. Определяются координаты x и u :

$$x = R_M / R_{гр} = 300 / 1960 = 0,153,$$

$$u = (\pi d \sin \theta_M) / \lambda = (\pi \times 7 \times \sin 12^\circ) / 0,05 = 91,4.$$

6.6.4. По графику [рис. 4](#) определяется функция

$$20 \lg [B(x)/x] = 14,5 \text{ дБ.}$$

6.6.5. По графикам [рис. 6](#) определяется функция $20 \lg F(u, x) = -54 \text{ дБ.}$

6.6.6. По [формуле \(4.12\)](#) рассчитывается Π_A :

$$\Pi_A = 10 \lg \frac{P \lambda^2}{d^4} + 10 \lg D_0 + 20 \lg \frac{B(X)}{X} + 20 \lg F(u, x) + 3 =$$

$$= 10 \lg (3000 \times 0,05^2 / 7^4) + 50 + 14,5 - 54 + 3 = -11,4 \text{ дБ.}$$

6.6.7. По графику [рис. 10](#) определяется $D_{обл}$, дБ:



$$D_{\text{обл}}, \text{ дБ} = 10 \lg D_{\text{обл}} = 6,5 \text{ дБ}.$$

6.6.8. По [формуле \(4.13\)](#) рассчитывается $\Pi_{\text{обл}}$:

$$\Pi_{\text{обл}} = 10 \lg(P/4\pi R_{\text{ж}}^2) + 10 \lg D_{\text{обл}} + 10 =$$

$$10 \lg[3000/(4\pi \times 300^2)] + 6,5 + 10 = -9,3 \text{ дБ}.$$

6.6.9. По [формуле \(4.14\)](#) рассчитывается суммарная ППМ, в точке М:

$$\Pi_1 = 10^{\Pi_{\text{А,обл}}/10} + 10^{\Pi_{\text{обл,обл}}/10} = 10^{-1,14} + 10^{-0,93} = 0,07 + 0,12 = 0,19 \text{ мкВт/см}^2.$$

Вывод: ППМ в точке М существенно меньше ПДУ = 10 мкВт/см².

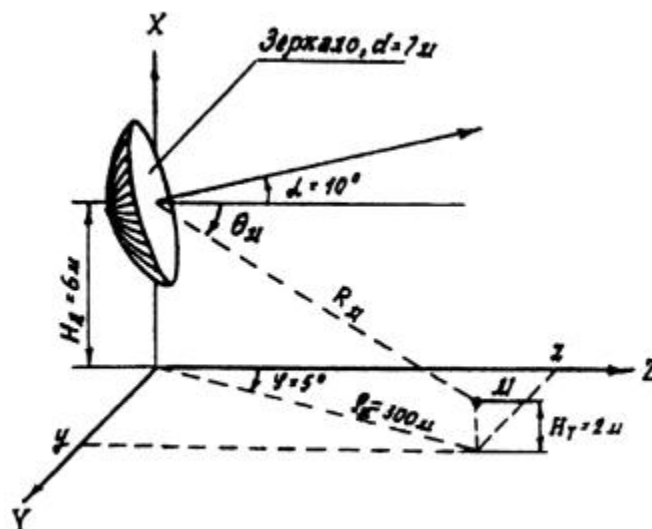


Рис. 14. Иллюстрация к примеру расчета ППМ от антенны ССП

7. Инструментальный контроль уровней электромагнитных полей технических средств РРСП ПВ, ТРРСП и ССП

Инструментальный контроль уровней ЭМП проводится с целью определения фактического состояния электромагнитной обстановки в районах размещения излучающих средств и служит средством оценки достоверности результатов расчета.

Измерения проводятся:

- на этапе предупредительного санитарного надзора- при приемке радиотехнического объекта (РТО) в эксплуатацию;
- на этапе текущего санитарного надзора- при изменении технических характеристик или режимов работы (мощности излучения, антенно-фидерного тракта, направлений излучения и т.п.);
- при изменении ситуационных условий размещения станций (изменение расположения антенн, высот их установки, азимута или угла места максимального излучения, застройки прилегающих территорий);
- после проведения защитных мероприятий, направленных на снижение уровней ЭМП;
- в порядке плановых контрольных измерений (не реже одного раза в год).

7. 1. Подготовка к проведению измерений

При подготовке к проведению измерений проводятся следующие работы:

- согласование с заинтересованными предприятиями и организациями цели, времени и условий проведения измерений;



- рекогносцировка района проведения измерений;
- выбор трасс (маршрутов) и площадок измерений, при этом, число трасс определяется рельефом местности, прилегающей к объекту, и целью измерений;
- организация связи для обеспечения взаимодействия между персоналом станции и группой измерений;
- обеспечение измерений дальности до точки измерений;
- определение необходимости использования средств индивидуальной защиты;
- подготовка необходимой измерительной аппаратуры.

7.2. Выбор трасс (маршрутов) измерений

Число трасс определяется рельефом прилегающей местности и целью измерений. При установлении границ СЗЗ выбирается несколько трасс, определяемых по конфигурации теоретических границ СЗЗ и прилегающей селитебной зоны. При текущем санитарном надзоре, когда характеристики станции и условия ее эксплуатации остаются неизменными, измерения могут проводиться по одной характерной трассе или по границе СЗЗ.

При выборе трасс учитывается характер прилегающей местности (рельеф, растительный покров, застройка и пр.), в соответствии с которым, район, прилегающий к станции, разбивается на секторы. В каждом секторе выбирается радиальная, относительно станции, трасса. К трассе предъявляются требования:

- трасса должна быть открытой, а площадки, на которых намечается проведение измерений, должны иметь прямую видимость на антенну излучающего средства;
- вдоль трассы, в пределах главного лепестка ХН, не должно быть переизлучателей (металлических конструкций и сооружений, линий электропередачи и т.п.) И других затеняющих местных предметов;
- наклон трассы должен быть минимальным по сравнению с наклоном всех возможных трасс в данном секторе;



- трасса должна быть доступной для пешего передвижения или для автотранспорта;

- протяженность трассы определяется на основе расчетного удаления границ СЗЗ и глубины зоны ограничения застройки (в 1,5 - 2 раза больше);

- точки (площадки) для проведения измерений следует выбирать с интервалом не более 25 м - при удалении до 200-300 м от излучающей антенны; 50-100 м - при удалении от 200-300 м до 500-1000 м; 100 м и более - при удалении более 1000 м.

При выборе площадок для проведения измерений следует учесть, чтобы в радиусе до 10 м отсутствовали местные предметы и из любой ее точки обеспечивалась прямая видимость на излучающую антенну.

7.3. Проведение измерений

Для инструментального контроля используются измерители плотности потока мощности типа ПЗ-9, ПЗ-18 и им подобные. Измерительные комплекты должны быть исправны и иметь действующее свидетельство о поверке.

Учитывая, что санитарные зоны технических средств РРСП ПВ, ТРРСП и ССП находятся в ближнем электромагнитном поле антенн (зона Френеля) и распределение плотности потока мощности имеет выраженный осциллирующий характер, т.е. не является однородным, для измерения уровней желательно использование измерительных антенн с наименьшей эффективной поверхностью $S_{эфф}$.

Развертывание и подготовка приборов к работе производится согласно инструкции по их эксплуатации.

Выбор мест измерений определяется необходимостью исключить облучение населения в местах его возможного нахождения как в пределах санитарно-защитной зоны и зоны ограничения, так и вне их.

В практике санитарного надзора часто приходится приводить натурные измерения (оценку электромагнитной обстановки) в служебной зоне, примыкающей к РТО, в том числе внутри зданий и жилых помещений. В этом случае дело осложняется тем, что измерения должны проводиться как на открытой территории в



дальней и ближней зонах излучения, так и на закрытой, т.е. в зданиях, в жилых помещениях, где пространство ограничено. При этом измерения проводятся в ближней зоне вторичных источников излучения. Вторичными источниками излучения обычно являются металлические, металлизированные и металлодержащие конструкции и сооружения. Интенсивность вторичного излучения может быть существенно выше интенсивности прямой волны. Поэтому измерения проводятся как в местах, находящихся в прямой видимости от антенны РТО, так и в области радиотени.

В обязательном порядке обследованию, в границах санитарных зон, подлежат здания первой линии относительно РТО. В случае превышения ПДУ проверке подвергаются строения последующих линий, особенно строения, высота которых превышает высоту строений первой линии. Для каждого переизлучателя, находящегося вне помещения, рекомендуется определять границу, на которой уровень ЭМП не превышает ПДУ.

При определении уровней ЭМП в помещениях измерения производятся у всех переизлучающих предметов - у окон, у входной двери, в центре комнаты, на балконе, начиная с минимально возможной высоты, определяемой возможностями прибора, до высоты 2 м. При этом, расстояние до переизлучающих предметов должно быть не менее 0.5м.

В каждой точке контроля производится не менее трех измерений. Результатом является среднее арифметическое значение этих измерений.

В каждой точке измерений находится максимальный уровень плотности потока мощности по высоте до 2 м, при этом необходимо, учитывая положение фронта волны, производить ориентацию измерительной антенны на максимум принимаемого сигнала.

При измерении ППМ и обработке данных от нескольких антенн излучающего объекта необходимо руководствоваться требованиями действующих санитарных норм.

Для измерения дальности от центра антенны могут использоваться ситуационный план местности, мерная лента, теодолит и другие доступные средства, обеспечивающие достаточную точность.



По результатам измерений составляется протокол. Результаты заносятся в санитарный паспорт объекта и служат основанием для уточнения расчётных, границ санитарных зон.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

АДЭ - антенна двухзеркальная с эллиптическим переизлучателем

АФТ - антенно-фидерный тракт

ДН - диаграмма направленности

ЗОЗ - зона ограничения застройки

ИСЗ - искусственный спутник Земли

КНД - коэффициент направленного действия

НПА - несимметричная параболическая антенна

ПА - параболическая антенна

ПАС - перископическая антенная система

ПДУ - предельно-допустимый уровень

ППМ - плотность потока мощности

РПА - рупорно-параболическая антенна

РРСП ПВ - радиорелейная система передачи прямой видимости

РТО - радиотехнический объект

СЗЗ - санитарно защитная зона

ССП - спутниковая система передачи

ТРРСП - тропосферная радиорелейная система передачи

ХН - характеристика направленности



ЭМО - электромагнитная обстановка

ЭМП - электромагнитное поле

