Государственная система санитарно-эпидемиологического нормирования Российской Федерации

4.3. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ. ФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В МЕСТАХ РАЗМЕЩЕНИЯ РАДИОСРЕДСТВ, РАБОТАЮЩИХ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 700 МГц - 300 ГГц

Методические указания
МУК 4.3.680 - 97

Издание официальное

Минздрав России
Москва
1998

gost.e-ecolog.ru

Государственная система санитарно-эпидемиологического нормирования Российской Федерации

4.3. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ. ФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В МЕСТАХ РАЗМЕЩЕНИЯ РАДИОСРЕДСТВ, РАБОТАЮЩИХ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 700 МГц - 300 ГГц

Методические указания
МУК 4.3.680 - 97

Издание официальное

Минздрав России
Москва
1998

ББК 32.848 (О 62)
УДК 621.396.61.029.6/537.63

О 62 Определение плотности потока излучения электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 700 МГц - 300 ГГц: Методические указания.-М: «Интерсэн» 1998. - 40 с.

1. Разработаны Бузовым А.Л., Романовым В.А. (Самарский отраслевой научно-исследовательский институт радио Государственного Комитета Российской Федерации по связи и информатизации), и Кубановым В.П., Сподобаевым Ю.М. (Поволжский институт информатики, радиотехники и связи Государственного Комитета Российской Федерации по связи и информатизации).

2. Представлены Госкомсвязи России письмом от 27 мая 1997 года №НТУОТ-1/058. Одобрены Комиссией по государственному санитарно-эпидемиологическому нормированию при Минздраве России.

3. Утверждены и введены в действие Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации от 11 ноября 1997г.

4. Введены взамен методических указаний «Определение плотности потока электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 700 МГц - 30 ГГц», МУК 4.3.043-96.

ISBN 5-89834-009-2

© Минздрав России
© Центр санэпиднормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1. Область применения..... 4
2. Сущность метода..... 5
3. Краткая характеристика источников излучения 5
4. Методика расчета ППИ апертурных антенн 8
5. Порядок расчета ППИ в произвольной точке горизонтальной плоскости 21
6. Примеры расчета 24
7. Инструментальный контроль уровней электромагнитных полей технических средств РРСП ПВ, ТРРСП и ССП 35
Список сокращений и обозначений 40

«УТВЕРЖДАЮ»
Главный государственный санитарный
врач Российской Федерации
Г.Г. Онищенко
11 ноября 1997 года
МУК 4.3.680 - 97
Дата введения: с момента утверждения

4.3. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ. ФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В МЕСТАХ РАЗМЕЩЕНИЯ РАДИОСРЕДСТВ, РАБОТАЮЩИХ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 700 МГц - 300 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 - 300 ГГц, определения границ санитарно-защитных зон и зон ограничения застройки, а также для прогнозирования уровней электромагнитного поля (ЭМП) при выборе мест размещения этих средств.

Издание официальное. Настоящие методические указания не могут быть полностью или частично воспроизведены, тиражированы и распространены без разрешения Департамента госсанэпиднадзора Минздрава России.

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 ЭМП вблизи радиотехнических объектов (РТО).

Методика расчетного прогнозирования ЭМП вблизи технических средств радиорелейных и спутниковых систем передачи базируется на концепции усредненной модели антенны: распределение в раскрыве круглой антенны - «парабола на пьедестале», в раскрыве квадратной антенны - «косинус на пьедестале»; уровень возбуждения основного зеркала в направлении его кромки - минус 10 дБ; затенение круглой апертуры - 10% по диаметру; боковое излучение облучателя - на уровне минус 10 дБ от максимума. Такая модель достаточно хорошо описывает характеристики реальных антенн радиосистем. Основные положения методики и расчетные формулы приведены в разделе 4.

3. Краткая характеристика источников излучения

3.1. Частотные и энергетические характеристики некоторых типов оборудования, геометрические и электрические параметры антенн РРСП ПВ приведены в таблице 1.

3.2. В таблице 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 $2{,}7 \times 2{,}7\,м^2$.

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.

Таблица 1

Характеристика типового оборудования РРСП ПВ

№ пп	Тип РРСП	Средняя длина волны, см	Мощность передатчика одного ствола, Вт	Тип антенны	Диаметр апертуры, м	КНД, дБ
1	Курс-2М	15,8	1,6	АДЭ-5	5	37,9
2	Курс-4	8,2	0,5	РПА АДЭ-5 АДЭ-3,5	- 5 3,5	39,5 43,5 40,7
3	Курс-6	5,07	7,5	РПА АДЭ-3,5 ПАС	- 3,5 3,9	43 44,8 40
4	Курс-8	3,7	0,4	АДЭ-2,5 ПАС	2,5 3,9	44 43
5	Радуга-4	8,2	4	РПА АДЭ-3,5 ПАС АДЭ-5	- 3,5 3,9 5	39,5 40,7 40 43,5
6	Радуга-6	5,07	3	РПА АДЭ-3,5 ПАС	- 3,5 3,9	43 44,8 40
7	Ракита-8	3,7	0,6	АДЭ-2,5 ПАС	2,5 3,9	44 43
8	Радан	2,7	0,1	ПА	1,5	45
9	Комплекс-5М	2,7	0,5	ПА	1,5	45

3.4. Некоторые частотные и энергетические характеристики типового оборудования, а также геометрические и электрические параметры антенн ТРРСП приведены в таблице 2.

3.5. Некоторые частотные и энергетические характеристики земных станций (ЗС) ССП приведены в таблице 3.

3.6. Антенны передающих ЗС, как правило, имеют диаметр от 1,5 до 30 метров. Если максимальный коэффициент направленного действия (КНД) неизвестен, то его можно рассчитать по формуле:

$$D_0 = 4\pi Sk / \lambda^2, \qquad (3.1)$$

где λ - длина волны, S - площадь апертуры, k - коэффициент использования поверхности, равный 0,6...0,7.

Для антенн больших диаметров, когда $d/\lambda \geq 100$ (d - диаметр антенны) величина коэффициента направленного действия может быть рассчитана по формуле:

$$D_0 \approx 20\lg(d/\lambda) + 7{,}7 \text{ , дБ.} \qquad (3.2)$$

Таблица 2

Характеристика типового оборудования ТРРСП

№ пп	Тип ТРРСП	Средняя длина волны, см	Мощность, Вт и число передатчиков	Тип антенны	Диаметр апертуры, $м^2$	КНД, дБ
1	Горизонт-М	30	3000×2	Несимметричная параболическая антенна	20×20	43
2	ТР-120	30	5000×2		30×30	47
3	ДТР-12	30	10000×2			

Таблица 3

Характеристика типового оборудования ССП

№ пп	Наименование	Средняя длина волны, см	Мощность передатчика, Вт
1	Градиент	4,9	3000 (10000)
2	Гравий	48,4	20
3	Геликон	4,9	4000
4	Грунт	4,9	200
5	Галактика-1	2,1	1500
6	Галактика-2	2,1	240

3.7. 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.

3.8.Данные, приведенные в таблицах 1...3, следует рассматривать как дающие самые общие представление об оборудовании. На реальных линиях телекоммуникаций в настоящее время применяется очень много разновидностей радиооборудования как отечественного, так и зарубежного.

4. Методика расчета ППИ апертурных антенн

4.1. Плотность потока излучения (ППИ), создаваемая апертурной антенной в расчетной точке (рис.1) определяется по формуле:

$$П = П_{А} + П_{Обл}, \quad Вт/м^2, \tag{4.1}$$

где $П_{А}$ - апертурная составляющая ППИ (рис.2);

$П_{Обл}$ - составляющая ППИ, определяемая непосредственно излучением облучателя (рис.3).

4.2. В предположении осевой симметрии ДН облучателя и антенны ППИ не зависит от координаты φ. При этом составляющие $П_{А}$ и $П_{Обл}$ записываются в виде:

$$П_{А} = \frac{P}{4\pi R^2} \cdot D_0 \cdot B^2(R) \cdot F^2(\theta, R), \quad Вт/м^2, \tag{4.2}$$

$$П_{Обл} = \frac{P}{4\pi R^2} \cdot D_{Обл} \cdot F^2_{Обл}(\theta), \quad Вт/м^2, \tag{4.3}$$

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 ДН антенны по мощности (величина безразмерная);

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

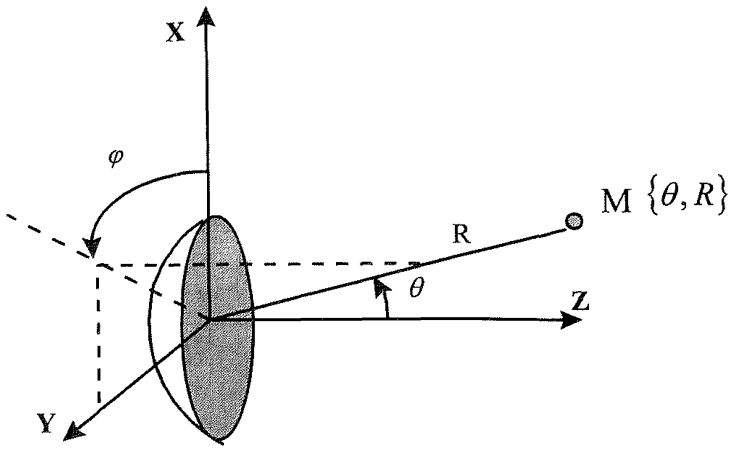


Рис.1. Взаимное расположение антенны и точки наблюдения

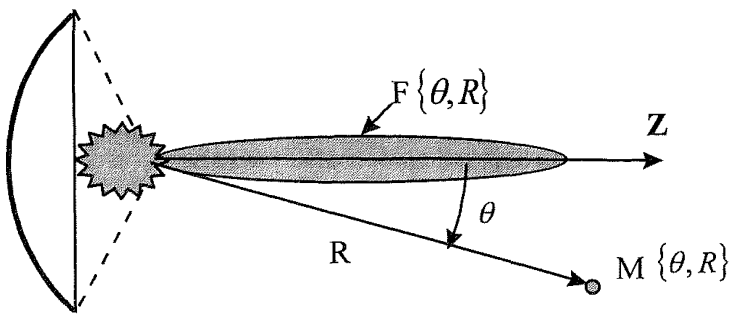


Рис.2. К расчету составляющей ППИ - $П_А$

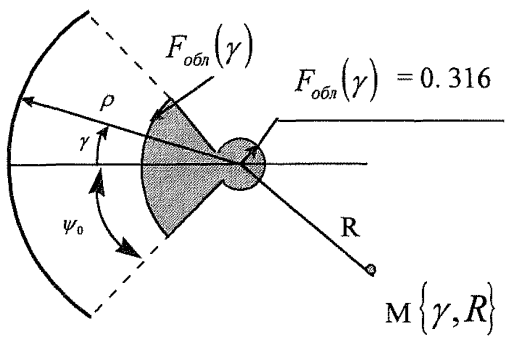


Рис.3. К расчету составляющей ППИ - $П_{Обл}$

$F^2_{Обл}(\theta)$ - нормированная ДН облучателя по мощности (величина безразмерная);

θ, R - сферические координаты расчетной точки.

Существенно отметить, что КНД и ДН 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 усредненной модели антенн принят в виде:

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

- для квадратной апертуры $f(\tau) = \alpha + (1-\alpha)\cos(\pi\tau/a)$, (4.5)

где $\alpha = 0{,}316$;

r - текущее значение координаты на диаметре апертуры;

τ - текущее значение координаты вдоль любой стороны квадрата;

a - сторона квадрата;

d - диаметр апертуры.

4.4. Вне углов сектора перехвата энергии облучателя зеркалом функция $F_{Обл}(\theta)$ считается неизменной и равной 0,316. Следовательно в этом случае $F^2_{Обл}(\theta) = 0{,}1$. Такое усреднение функции $F_{Обл}(\theta)$ позволяет отказаться от введения в расчетные формулы коэффициентов, учитывающих влияние вспомогательных конструкций и влияние земли.

С учетом этого формула (4.3) записывается в таком виде:

$$П_{Обл} = 0{,}1 \cdot \frac{P}{4\pi R^2} \cdot D_{Обл}, \ Вт/м^2. \qquad (4.6)$$

4.5. Методика расчета ДН антенны предполагает использование переменных 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, (4.7)

$x = R/R_{гр}$, (4.8)

где λ - длина волны, м;

$R_{гр} = 2d^2 / \lambda$ - для круглой апертуры; (4.9)

$R_{гр} = 2a^2 / \lambda$ - для квадратной апертуры. (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:

$$П_A = \frac{P\lambda^2}{16\pi d^4} \cdot D_0 \cdot \frac{B^2(x)}{x^2} \cdot F^2(u,x), \quad Вт/м^2 . \qquad (4.11)$$

4.7. Перевод размерности ППИ $Вт/м^2$ в $мкВт/см^2$ осуществляется умножением выражений (4.6) и (4.11) на 100.

4.8. Переход от абсолютных значений размерности ППИ к относительным (децибелам относительно $1мкВт/см^2$) позволяет записать выражения (4.6) и (4.11) в виде:

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

$$П_{Обл} = 10\lg\frac{P}{4\pi R^2} + 10\lg D_{Обл} + 10, \quad дБ, \qquad (4.13)$$

где $B(x)$ - функция, учитывающая изменение КНД в зависимости от относительного расстояния; $F(u,x)$ - нормированная ДН 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 приведена эта функция для антенн с круглой и квадратной апертурами. В области $x > 1$ функция $20\lg[B(x)/x] = -20\lg x$.

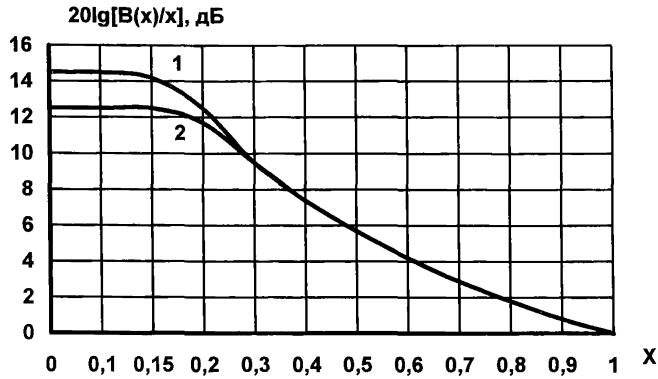


Рис.4. График функции 20lg[B(x)/x] для круглой (1) и квадратной (2) апертур

4.10. Функция $F(u,x)$ сильно осциллирующая. На рис. 5...8 приведены графики гарантированных огибающих этих функций для антенн с круглой и квадратной апертурами для фиксированных значений x. При значениях $x > 1$, что соответствует дальней зоне, необходимо пользоваться огибающими для $x = 1$.

Для удобства практических расчетов гарантированные огибающие табулированы (таблицы 4...7).

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_T. В методике принято, что коэффициент затенения $d_T / d = 0,1$ (d_T - диаметр "теневого диска", d - диаметр апертуры).

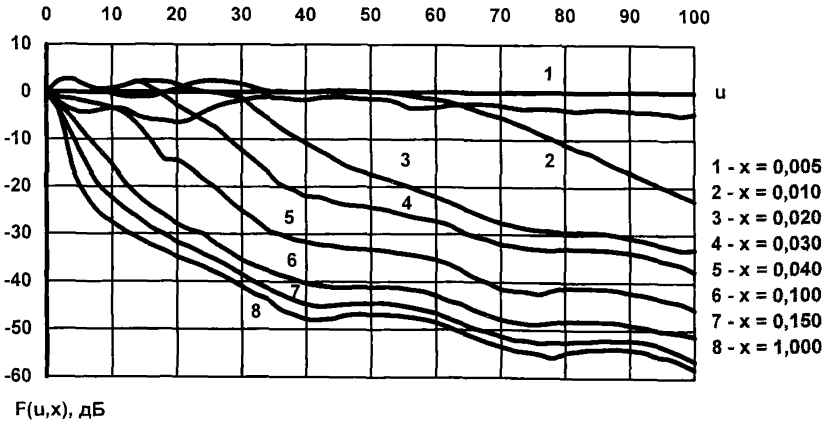


Рис.5. Функция F(u,x) - круглая апертура, u = 0...100

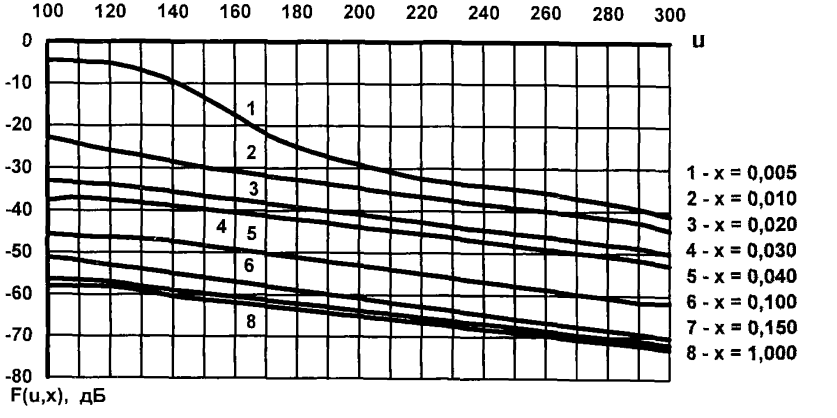


Рис.6. Функция F(u,x) - круглая апертура, u = 100...300

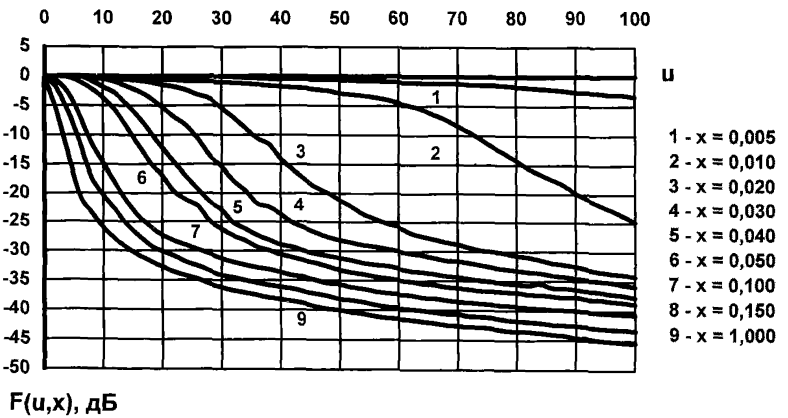


Рис.7. Функция F(u,x) - квадратная апертура, u = 0...100

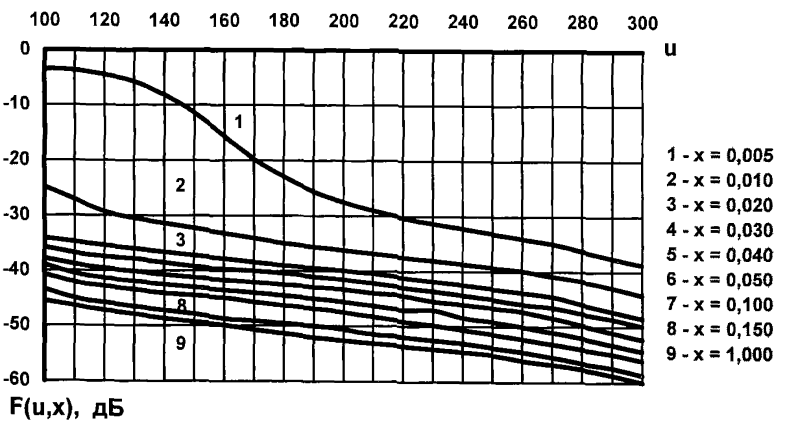


Рис.8. Функция F(u,x) - квадратная апертура, u = 100...300

Таблица 4

Функция F(u,x) - круглая апертура, u = 0...100

u	Параметр x							
	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,1	0,15	1,0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-2,32	2,35	2,36	2,36	-1,11	-2,82	-4,12	-4,60
4	-3,75	2,66	2,66	2,66	-1,46	-5,65	-9,46	-16,2
6	-4,25	1,42	1,43	1,43	-2,0	-9,16	-15,1	-21,9
8	-3,86	0,53	0,66	0,66	-2,46	-12,1	-19,6	-25,4
10	-3,35	-0,35	0,76	0,76	-3,28	-15,3	-22,3	-27,5
12	-3,67	-0,91	1,36	1,36	-4,50	-19,1	-24,7	-29,4
14	-5,10	-1,08	2,17	2,17	-6,96	-21,9	-26,6	-30,9
16	-5,75	-0,91	2,31	0,96	-10,3	-24,2	-28,7	-32,3
18	-6,00	-0,12	2,16	-0,78	-14,1	-26,0	-30,1	-33,5
20	-6,36	0,64	1,67	-2,71	-14,3	-27,9	-31,7	-34,8
22	-5,89	1,72	0,71	-4,36	-16,0	-29,2	-32,8	-35,8
24	-4,32	2,28	0,10	-5,93	-18,3	-30,0	-34,2	-36,9
26	-3,07	2,37	-0,11	-7,46	-20,2	-32,0	-35,4	-38,1
28	-2,25	2,14	-0,63	-10,0	-22,8	-33,7	-36,9	-39,4
30	-1,78	1,71	-1,18	-12,2	-25,0	-35,4	-38,4	-41,0
32	-1,28	0,90	-3,53	-14,4	-26,9	-36,6	-40,1	-42,6
34	-1,07	0,14	-5,50	-16,8	-29,1	-37,7	-41,4	-43,7
36	-1,21	0,22	-7,48	-19,4	-30,0	-38,6	-42,6	-45,8
38	-1,53	0	-9,28	-20,6	-31,0	-39,4	-43,8	-46,9
40	-1,67	0	-10,7	-21,9	-31,6	-40,3	-44,7	-47,8
42	-1,28	0,07	-12,3	-22,2	-32,2	-40,8	-45,2	-48,0
44	-1,07	0,30	-13,8	-23,1	-32,4	-41,1	-45,0	-47,7
46	-1,10	0,32	-15,4	-23,8	-32,9	-41,2	-44,7	-47,0
48	-1,35	0,17	-16,5	-24,1	-33,1	-41,1	-44,7	-46,8
50	-1,46	0,05	-17,4	-24,4	-33,2	-41,2	-44,5	-46,9
52	-1,57	0,00	-18,2	-24,8	-33,5	-41,1	-44,5	-46,9
54	-2,10	-0,25	-19,1	-25,5	-33,9	-41,2	-44,8	-47,0
56	-3,35	-0,70	-20,0	-26,2	-34,3	-41,6	-45,3	-47,4
58	-3,35	-1,20	-21,1	-26,8	-34,8	-42,0	-45,9	-47,8
60	-3,21	-1,50	-22,1	-27,3	-35,4	-42,9	-46,6	-48,5
62	-2,78	-2,02	-23,2	-28,1	-36,3	-44,0	-47,7	-49,5
64	-2,57	-2,78	-24,4	-29,4	-37,6	-44,7	-48,7	-50,6
66	-2,35	-3,59	-25,5	-30,4	-39,0	-45,9	-49,7	-51,6
68	-2,46	-4,50	-26,6	-31,1	-40,1	-46,9	-50,4	-52,6
70	-2,82	-5,23	-27,5	-32,0	-41,4	-47,8	-51,3	-53,5
72	-3,21	-6,28	-28,1	-32,3	-41,8	-48,3	-52,0	-54,2
74	-3,46	-7,37	-28,7	-32,8	-42,0	-48,7	-52,2	-54,6
76	-3,37	-8,61	-29,0	-33,0	-42,4	-48,7	-52,6	-55,0
78	-3,46	-9,75	-29,2	-33,2	-41,7	-48,4	-52,5	-55,7
80	-3,72	-11,0	-29,5	-32,9	-41,2	-48,1	-52,5	-54,7
82	-3,89	-12,1	-29,3	-33,0	-41,2	-48,0	-52,2	-54,2
84	-3,64	-12,9	-29,4	-33,0	-41,2	-48,1	-52,2	-53,9
86	-3,60	-14,4	-29,6	-33,1	-41,3	-48,2	-52,0	-53,9
88	-3,78	-15,8	-30,1	-33,4	-41,6	-48,4	-52,2	-53,8
90	-4,00	-16,9	-30,7	-33,8	-42,2	-48,9	-52,1	-54,1
92	-4,14	-18,1	-31,2	-34,3	-42,6	-49,3	-52,4	-54,4
94	-4,25	-19,3	-31,9	-35,0	-43,2	-49,9	-52,9	-55,3
96	-4,42	-20,4	-32,5	-35,7	-43,8	-52,0	-53,9	-55,7
98	-4,89	-21,6	-33,2	-36,4	-44,4	-50,6	-55,0	-56,8
100	-4,46	-22,8	-33,0	-37,7	-45,6	-51,2	-56,4	-58,1

Таблица 5

Функция F(u,x) - круглая апертура
u = 100...760

u	Параметр x						
	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,1	0,15	1,0
100	-4,46	-22,8	-33,0	-37,7	-45,6	-51,2	-56,4	-58,1
110	-4,71	-24,3	-33,5	-37,0	-46,1	-51,9	-56,5	-57,9
120	-5,14	-25,8	-33,9	-37,5	-46,3	-53,0	-56,9	-58,1
130	-6,89	-27,1	-34,8	-38,2	-46,7	-53,9	-58,1	-59,1
140	-9,48	-28,5	-35,6	-38,9	-47,3	-54,9	-58,9	-60,4
150	-13,3	-29,9	-36,6	-39,7	-48,3	-55,9	-59,7	-61,2
160	-17,5	-30,8	-37,4	-40,5	-49,2	-56,9	-60,5	-61,9
170	-21,9	-31,8	-38,3	-41,3	-50,2	-57,9	-61,3	-62,7
180	-24,9	-32,7	-39,2	-42,1	-51,1	-58,9	-62,1	-63,5
190	-27,3	-33,7	-40,1	-42,9	-52,1	-59,9	-62,9	-64,3
200	-29,1	-34,7	-40,9	-43,9	-53,0	-60,8	-63,8	-65,1
210	-30,8	-35,7	-41,8	-44,6	-53,9	-61,8	-64,5	-65,8
220	-32,4	-36,6	-42,7	-45,5	-54,9	-62,8	-65,4	-66,6
230	-33,4	-37,6	-43,7	-46,3	-55,9	-63,7	-66,2	-67,4
240	-34,1	-38,4	-44,5	-47,3	-56,8	-64,7	-66,9	-68,2
250	-34,8	-39,3	-45,3	-48,2	-57,8	-65,7	-67,7	-68,9
260	-35,7	-40,0	-46,1	-49,1	-58,7	-66,6	-68,6	-69,7
270	-36,9	-40,9	-46,9	-49,9	-59,9	-67,1	-69,0	-70,0
280	-38,1	-41,7	-47,9	-50,7	-60,6	-68,4	-70,2	-71,3
290	-39,4	-42,7	-48,7	-51,6	-61,6	-69,2	-70,9	-72,0
300	-40,1	-44,1	-49,9	-52,9	-63,0	-70,1	-71,9	-72,9
400	-50,0	-54,0	-60,0	-63,0	-73,0	-80,0	-82,0	-83,0
500	-60,0	-64,0	-70,0	-73,0	-83,0	-90,0	-92,0	-93,0
600	-70,0	-74,0	-80,0	-83,0	-93,0	-100	-102	-103
700	-80,0	-84,0	-90,0	-93,0	-103	-110	-112	-113
760	-86,0	-90,0	-96,0	-99,0	-109	-116	-118	-119

Таблица 6

Функция F(u,x) - квадратная апертура, u = 0...100

u	Параметр x								
	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,1	0,15	1,0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	-0,71	-1,89	-5,60
4	0	0	0	0	0	-0,21	-2,73	-5,90	-13,3
6	0	0	0	0	0	-0,97	-6,73	-11,4	-20,4
8	0	0	-0,16	-0,30	-0,76	-2,06	-11,4	-17,2	-23,4
10	0	0	-0,31	-0,48	-1,81	-3,59	-14,8	-20,3	-26,0
12	0	0	-0,47	-0,95	-2,83	-5,74	-18,2	-22,9	-28,0
14	0	0	-0,53	-1,70	-4,73	-8,62	-21,4	-25,4	-29,5
16	0	-0,12	-0,74	-2,52	-6,94	-11,8	-24,0	-27,4	-30,8
18	0	-0,36	-1,02	-3,67	-9,53	-14,8	-25,8	-29,1	-31,8
20	0	-0,54	-1,45	-5,19	-12,2	-16,9	-27,3	-30,1	-32,7
22	0	-0,62	-1,77	-6,95	-14,7	-19,7	-28,3	-30,9	-33,6
24	0	-0,78	-2,31	-8,37	-17,1	-21,2	-29,0	-31,9	-34,2
26	0	-0,82	-3,15	-10,7	-19,3	-22,3	-29,8	-32,6	-34,8
28	0	-0,86	-3,81	-13,6	-21,5	-24,9	-30,5	-33,4	-35,6
30	0	-1,00	-5,34	-15,4	-22,9	-26,2	-31,3	-34,1	-36,2
32	-0,11	-1,12	-6,96	-17,8	-25,1	-27,4	-31,9	-34,5	-36,7
34	-0,31	-1,26	-8,83	-19,5	-26,2	-28,2	-32,4	-35,0	-37,1
36	-0,36	-1,38	-10,6	-21,8	-27,3	-29,3	-32,8	-35,4	-37,5
38	-0,42	-1,60	-11,6	-22,4	-28,1	-29,9	-33,1	-35,8	-37,9
40	-0,48	-1,76	-14,1	-23,7	-28,9	-30,6	-33,6	-36,1	-38,2
42	-0,48	-1,90	-15,9	-25,1	-29,3	-31,1	-34,1	-36,4	-38,5
44	-0,48	-2,04	-17,5	-26,0	-30,0	-31,6	-34,4	-36,9	-38,9
46	-0,55	-2,20	-18,9	-26,8	-30,4	-32	-34,9	-37,2	-39,4
48	-0,55	-2,40	-19,9	-27,6	-30,8	-32,6	-35,4	-37,6	-39,8
50	-0,64	-2,88	-21,2	-28,1	-31,2	-33,2	-35,6	-38,1	-40,0
52	-0,67	-3,08	-22,3	-28,5	-31,5	-33,6	-36,1	-38,3	-40,4
54	-0,77	-3,30	-23,6	-28,9	-32,0	-33,9	-36,4	-38,6	-40,6
56	-0,79	-3,56	-24,4	-29,2	-32,3	-34,3	-36,8	-39,1	-41,0
58	-0,89	-3,94	-25,2	-29,6	-32,5	-34,6	-37,1	-39,4	-41,3
60	-0,95	-4,46	-25,8	-30,0	-32,9	-34,9	-37,3	-39,6	-41,4
62	-1,01	-4,94	-26,8	-30,3	-33,3	-35,1	-37,4	-39,8	-41,6
64	-1,06	-5,56	-27,4	-30,6	-33,5	-35,4	-37,8	-40,0	-41,8
66	-1,11	-6,44	-27,9	-31,1	-33,8	-35,6	-37,9	-40,3	-42,1
68	-1,15	-7,26	-28,4	-31,5	-34,1	-36,0	-38,2	-40,5	-42,4
70	-1,18	-8,38	-28,8	-31,6	-34,3	-36,2	-38,5	-40,6	-42,6
72	-1,29	-9,36	-29,3	-31,9	-34,6	-36,4	-38,6	-40,9	-42,7
74	-1,35	-10,6	-29,8	-32,3	-34,9	-36,6	-38,8	-41,0	-42,8
76	-1,39	-11,9	-30,0	-32,7	-35,1	-36,7	-39,0	-41,2	-43,0
78	-1,45	-13,0	-30,2	-32,9	-35,3	-36,8	-39,1	-41,5	-43,3
80	-1,68	-14,2	-30,7	-33,2	-35,5	-36,9	-39,3	-41,7	-43,5
82	-1,77	-15,5	-30,9	-33,4	-35,7	-37,2	-39,5	-41,8	-43,5
84	-1,96	-16,5	-31,4	-33,6	-35,4	-37,3	-39,6	-42,0	-43,7
86	-2,13	-17,4	-31,9	-34,0	-36,1	-37,5	-39,8	-42,3	-44,0
88	-2,34	-18,4	-32,2	-34,2	-36,2	-37,8	-39,9	-42,4	-44,2
90	-2,58	-19,8	-32,5	-34,5	-36,4	-37,7	-40,0	-42,5	-44,5
92	-2,64	-20,8	-32,9	-34,7	-36,6	-38,0	-40,1	-42,7	-44,7
94	-2,77	-21,8	-33,3	-34,9	-36,7	-38,0	-40,3	-42,9	-44,9
96	-3,05	-22,7	-33,6	-35,1	-37,1	-38,3	-40,4	-43,0	-45,1
98	-3,06	-23,7	-33,8	-35,5	-37,3	-38,5	-40,5	-43,1	-45,3
100	-3,44	-24,8	-34,1	-35,8	-37,7	-38,8	-40,6	-43,3	-45,4

Таблица 7

Функция F(u,x) - квадратная апертура u = 100...760

u	Параметр x								
	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,1	0,15	1,0
100	-3,44	-24,8	-34,1	-35,7	-37,7	-38,8	-40,6	-43,3	-45,4
110	-3,75	-27,1	-34,8	-36,8	-38,8	-40,5	-42,1	-45,0	-46,4
120	-4,53	-29,3	-35,4	-37,4	-39,5	-41,3	-42,8	-45,8	-47,2
130	-5,74	-30,5	-36,0	-37,8	-40,1	-41,9	-43,4	-46,5	-47,9
140	-8,14	-31,4	-36,6	-38,5	-40,7	-42,5	-44,1	-47,2	-48,7
150	-11,4	-32,3	-37,2	-39,2	-41,2	-43,0	-44,5	-47,9	-49,3
160	-15,6	-33,2	-37,8	-39,7	-41,7	-43,5	-44,9	-48,7	-49,9
170	-19,7	-34,1	-38,4	-40,0	-42,1	-44,0	-45,7	-49,1	-50,7
180	-22,9	-35,0	-39,0	-40,4	-42,5	-44,5	-46,3	-49,6	-51,4
190	-25,6	-35,6	-39,4	-41,0	-42,9	-45,0	-46,8	-50,0	-52,1
200	-27,5	-36,2	-39,9	-41,5	-43,3	-45,6	-47,5	-50,6	-52,6
210	-29,0	-36,8	-40,4	-42,2	-44,0	-46,3	-48,3	-51,5	-53,1
220	-30,3	-37,4	-41,1	-42,9	-44,4	-47,0	-49,1	-51,9	-53,6
230	-31,3	-38,0	-41,8	-43,6	-45,4	-47,0	-49,8	-52,5	-54,1
240	-32,2	-38,6	-42,4	-44,3	-46,0	-48,4	-50,6	-53,0	-54,6
250	-33,1	-39,2	-43,1	-45,0	-46,6	-49,1	-51,4	-53,8	-55,1
260	-34,0	-39,8	-43,8	-45,9	-47,2	-50,0	-52,2	-54,5	-56,1
270	-34,9	-40,9	-44,9	-46,9	-48,9	-51,0	-53,1	-55,9	-56,9
280	-36,2	-41,7	-45,9	-47,6	-49,7	-52,0	-54,0	-56,5	-57,6
290	-37,5	-42,9	-47,2	-48,6	-51,0	-53,2	-54,9	-57,4	-58,7
300	-38,0	-44,1	-48,1	-49,9	-52,0	-54,1	-56,1	-58,9	-60,0
400	-48,0	-54,0	-58,0	-60,0	-62,0	-64,0	-66,0	-69,0	-70,0
500	-58,0	-64,0	-68,0	-70,0	-72,0	-74,0	-76,0	-79,0	-80,0
600	-68,0	-74,0	-78,0	-80,0	-82,0	-84,0	-86,0	-89,0	-90,0
700	-78,0	-84,0	-88,0	-90,0	-92,0	-94,0	-96,0	-99,0	-100
760	-84,0	-90,0	-94,0	-96,0	-98,0	-100	-102	-105	-106

4.12. Графики гарантированных огибающих, приведенные на рис.5...8, и таблицы значений огибающих являются универсальными, т.е. они справедливы для любых апертур при условии, что их линейные размеры существенно превышают длину волны. Использование таблиц для определения значений огибающих при произвольных u предполагает проводить линейную интерполяцию соответствующих участков.

4.13. Величина $D_{Обл,дБ} = 10 \lg D_{Обл}$ определяется ДН облучателя. График зависимости $D_{обл,дБ}(\psi_0)$ для усредненной модели антенны приведен на рис.9. Если величина ψ_0 не задана, то ее можно определить по формуле: $\psi_0 = 2\mathrm{arctg}(d/4f)$, где f - фокусное расстояние.

Большинство осесимметричных антенн имеют $2\psi_0 = 150...210^0$. В тех случаях, когда величина ψ_0 или f неизвестна, для оценочного расчета ППИ можно принять $2\psi_0 = 180^0$ для осесимметричных антенн и $2\psi_0 = 90^0$ для осенесимметричных.

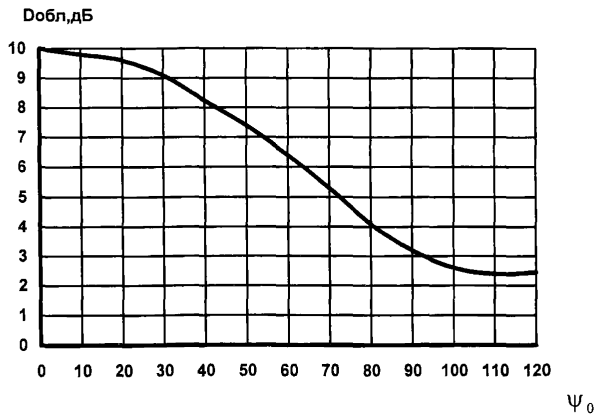


Рис.9. Зависимость КНД облучателя от угла ψ_0

4.14. Термины "облучатель", "ДН 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. Дифракционные явления на кромках зеркала и вспомогательных конструкциях антенны не учитываются.

4.16. Расчет суммарной ППИ в секторе углов $\theta \le \beta$ осуществляется по формуле:

$$П = 10^{П_{А,дБ}/10} + 10^{П_{Обл,дБ}/10}, \qquad (4.14)$$

где $П_{А,дБ}$ и $П_{Обл,дБ}$ вычисляются по формулам (4.12) и (4.13);

$\beta = 90^0$ - для длиннофокусных антенн ($\psi_0 \le 90^0$);

$\beta = 180^0 - \psi_0$ - для короткофокусных антенн ($\psi_0 > 90^0$).

4.17. Для сектора углов $\theta > \beta$ расчет ППИ следует выполнять следующим образом:

- рассчитывается коэффициент защитного действия τ_a по формуле:

$$\tau_a = -7{,}33 - 10\lg D_0 - 20\lg\sin\left(\frac{\psi_0}{2}\right), \text{ дБ}; \qquad (4.15)$$

- вычисляется $П(0)$ - величина ППИ при $\theta = 0^0$;

- вычисляется $П(\beta)$ - величина ППИ при $\theta = \beta$;

- вычисляется $П(180)$ - величина ППИ при $\theta = 180^0$ по формуле:

$$П(180) = П(0) \cdot 10^{\frac{\tau_a}{10}}; \qquad (4.16)$$

- рассчитывается ППИ в заданной точке по формуле:

$$П(\theta) = 10^{\left[\lg П(\beta) + \frac{\beta-\theta}{180-\beta}\lg\left(\frac{П(\beta)}{П(180)}\right)\right]}, \quad \text{мкВт/см}^2. \qquad (4.17)$$

4.18. Для относительных расстояний $x < 0{,}005$ расчет ППИ следует выполнять следующим образом:

- вычисляется $П(0{,}005)$ - величина ППИ при $x = 0{,}005$;

- вычисляется $П_S$ - усредненная величина ППИ на апертуре по формуле:

$$П_S = 400P / (\pi d^2 0{,}65) \approx 200P / d^2 \text{ , мкВт/см}^2 \qquad (4.18)$$

- рассчитывается ППИ в заданной точке по формуле:

$$П(x) = 10^{\left[\lg П(0{,}005) + \frac{0{,}005 - x}{0{,}005} \lg\left(\frac{П_s}{П(0{,}005)}\right)\right]}, \text{ мкВт/см}^2. \qquad (4.19)$$

При этом следует иметь ввиду, что удаление расчетной точки от центра апертуры должно быть не менее d/2 для антенн с круглой апертурой и a/2 для антенн с квадратной апертурой.

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

5. Порядок расчета ППИ в произвольной точке горизонтальной плоскости

5.1. Постановка задачи иллюстрируется рис.10. Центр апертуры - 0, его высота над землей - H_A. Угол α характеризует отклонение направления максимального излучения от плоскости горизонта. Ось Z системы координат XYZ совмещается с проекцией направления максимального излучения на плоскость YOZ. Горизонтальная плоскость, на которой определяется ППИ, находится на высоте H_T над землей. Расчетная точка задается либо через координаты ρ_M (расстояние до точки M вдоль поверхности земли) и φ_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; $2\psi_0$ - угол раскрыва антенны.

Если какие-либо из перечисленных параметров для реальной антенны неизвестны, их, как правило, можно рассчитать, ис-

пользуя соответствующую литературу по антенно-фидерным устройствам.

5.2. Порядок расчета ППИ в переднем полупространстве (при $\theta < \beta$) следующий:

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

$$R_M = \sqrt{(H_M - H_T)^2 + \rho_M^2}$$

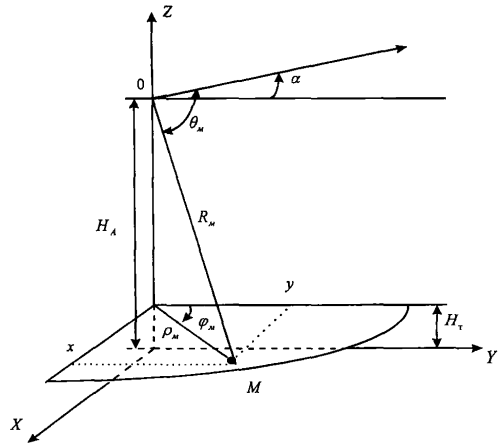


Рис.10. К расчету ППИ в произвольной точке

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

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

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 находится значение функции $20\lg\left[B(x_M)/x_M\right]$ в дБ.

5.2.6. По таблицам 4...7 или графикам рис.5...8 находится значение $F(u_M, x_M)$ в дБ.

5.2.7. Применение формулы (4.12) позволяет получить значение ППИ антенны $П_A$ в дБ.

5.2.8. По графику рис.9 определяется значение $D_{Обл}$ в дБ.

5.2.9. Применение формулы (4.13) позволяет получить значение ППИ облучателя $П_{Обл}$ в дБ.

5.2.10. Суммарное значение ППИ рассчитывается по формуле (4.14).

5.3. Порядок расчета ППИ в заднем полупространстве (при $\theta > \beta$) следующий:

5.3.1. Выполняются расчеты по п.п. 5.2.1. и 5.2.2. для заданной точки наблюдения.

5.3.2. Выполняются операции по п.п. 5.2.3....5.2.10. для $\theta = 0^0$ и $\theta = \beta$.

5.3.3. Рассчитывается коэффициент защитного действия τ_a по формуле (4.15).

5.3.4. Вычисляется П(180) - величина ППИ при $\theta = 180^0$ по формуле (4.16).

5.3.5. Рассчитывается ППИ в заданной точке по формуле (4.17).

5.4. Повторяя операции последовательно для различных точек выбранного азимута ($\varphi_M = \text{const}$), можно определить, во-первых, как меняется ППИ вдоль соответствующего азимута, а, во-вторых, найти ту точку, где ППИ равна ПДУ. Если подобные точки найти на других азимутальных линиях, проведенных, например, через 10^0, 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 $2\psi_0 = 210^0$. Антенна находится на высоте 50 м.

Сравнить ППИ в точках M_1 и M_2 с ПДУ ППИ. Точка M_1 расположена в направлении на соседнюю станцию, ее высота над поверхностью земли - 2 м, а удаление от основания мачты - 100 м. Точка M_2 расположена на оси мачты на высоте 30 м. Постановка задачи иллюстрируется рис.11.

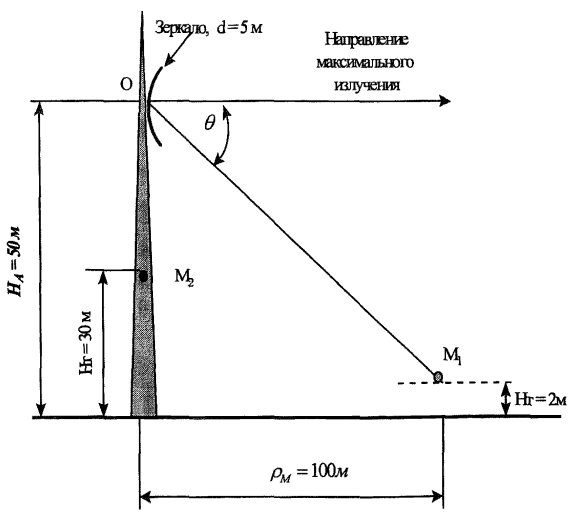


Рис.11. Иллюстрация к примеру расчета ППИ от антенны РРСП ПВ

6.2. Порядок решения.

6.2.1. По таблице 1 определяются:

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

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

- диаметр антенны $d = 5$ м;

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

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

6.3. **Расчет ППИ в точке M_1**

6.3.1. Находится расстояние R_M - "центр апертуры - точка M_1" и угол θ_M:

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

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

При $\varphi = 0$ и $\alpha = 0$:

$$\theta_M = \arccos\rho_M / R_M = \arccos 100 / 111 = 25{,}7^0.$$

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

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

6.3.3 Определяются координаты x и u:

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

$$u = \left(\pi d \sin\theta_M\right) / \lambda = \left(\pi \cdot 5 \cdot \sin 25{,}7^0\right) / 0{,}082 = 83.$$

6.3.4. По таблице 4 определяется функция

$$20\lg F(u,x) = -53 \text{ дБ}.$$

6.3.5. По графику рис.4 определяется функция

$$20\lg[B(x)/x] = 13 \text{ дБ}.$$

6.3.6. По формуле (4.12) рассчитывается

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

$$= 10\lg\left(12 \cdot 0{,}082^2 / 5^4\right) + 43{,}5 + 13 - 53 + 3 = -32{,}4 \text{ дБ}$$

6.3.7. По графику рис.9 определяем

$D_{Обл,дБ} = 10\lg D_{Обл} = 2{,}5$ дБ.

6.3.8. По формуле (3.13) рассчитывается

$$П_{Обл} = 10\lg\left(P / 4\pi R_М^2\right) + 10\lg D_{Обл} + 10 =$$

$$= 10\lg\left[12 / \left(4\pi \cdot 111^2\right)\right] + 2{,}5 + 10 = -28{,}6 \text{ дБ}.$$

6.3.9. По формуле (4.14) рассчитывается суммарная ППИ в точке M_1:

$П = 10^{П_{А,дБ}/10} + 10^{П_{Обл,дБ}/10} = 10^{-3{,}24} + 10^{-2{,}86} = 0{,}002$ мкВт/см^2.

Вывод: ППИ в точке M_1 меньше ПДУ равного 10 мкВт/см^2.

6.4. **Расчет ППИ в точке M_2**

6.4.1. Принимается, что $R_М \approx H_А - H_Т = 50 - 30 = 20$ м, $\theta_М = 90^0$.

6.4.2. Поскольку $\psi_0 = 105^0 > 90^0$, то вычисляется угол $\beta = 180^0 - \psi_0 = 75^0$.

6.4.3. Для $R_М = 20$ м и $\beta = 75^0$ определяются параметры:

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

$x = R_М / R_{гр} = 20 / 610 = 0{,}033$,

$u = \left(\pi d \sin\theta_М\right) / \lambda = \left(\pi \cdot 5 \cdot \sin 75^0\right) / 0{,}082 = 185$.

6.4.4. Для этих параметров рассчитывается $П(\beta)$:

- по таблице 5 определяется функция:

$20\lg F(u, x) = -45{,}5$ дБ;

- по графику рис.4 определяется функция:

$20\lg\left[B(x) / x\right] = 14{,}5$ дБ;

- по формуле (4.12) рассчитывается

$П_А = -38{,}9 + 43{,}5 + 14{,}5 - 45{,}5 + 3 = -23{,}4$ дБ;

- по формуле (4.13) рассчитывается $П_{Обл}$ с учетом того, что величина $D_{Обл,дБ}$ определена в п.6.3.7:

$П_{Обл} = 10\lg\left[12/\left(4\pi \cdot 20^2\right)\right] + 2{,}5 + 10 = -13{,}7$ дБ;

- по формуле (4.14) рассчитывается суммарная ППИ : $П(\beta) = 10^{-2{,}34} + 10^{-1{,}37} = 0{,}047$ мкВт/см^2.

6.4.5. Рассчитывается $П(0)$ для параметров $x = 0{,}033$ и $u = 0$:

- $20\lg\left[B(x)/x\right] = 14{,}5$ дБ;

- $F(0;0{,}033) = 0$ всегда для $u = 0$;

- по формуле (4.12) рассчитывается

$П_A = -38{,}9 + 43{,}5 + 14{,}5 + 3 = 22{,}1$ дБ;

- $П_{Обл}$ определена в пункте 6.4.4. - $П_{Обл} = -13{,}7$ дБ:

- по формуле (4.14) рассчитывается суммарная ППИ : $П(0) = 10^{2{,}21} + 10^{-1{,}37} = 162{,}3$ мкВт/см^2.

6.4.6. Рассчитывается коэффициент защитного действия τ_a по формуле (4.15):

$$\tau_a = -7{,}33 - 10\lg D_0 - 20\lg\sin\left(\frac{\psi_0}{2}\right) =$$

$$= -7{,}33 - 43{,}5 - 20\lg\sin 52{,}5^0 = -48{,}8 \text{ дБ}.$$

6.4.7. Вычисляется $П(180)$ - величина ППИ при $\theta = 180^0$ по формуле (4.16):

$$П(180) = П(0) \cdot 10^{\frac{\tau_a}{10}} = 162{,}3 \cdot 10^{-4{,}88} = 0{,}00214 \text{ мкВт/см}^2.$$

6.4.8. Рассчитывается ППИ в расчетной точке M_2 по формуле (4.17.):

$$П(\theta) = 10^{\left[\lg П(\beta) + \frac{\beta - \theta}{180 - \beta}\lg\left(\frac{П(\beta)}{П(180)}\right)\right]} =$$

$$= 10^{\left[\lg 0{,}047 + \frac{75^0 - 90^0}{180^0 - 75^0}\lg\left(\frac{0{,}047}{0.00214}\right)\right]} = 0{,}038 \text{ мкВт/см}^2.$$

Вывод: ППИ в точке M_2 меньше ПДУ равного 10 мкВт/см^2 .

Пример 2

6.5. Постановка задачи.

Техническое средство - оборудование ТРРСП ТР-120 на оконечной станции. Используются две антенны НПА $30 \times 30\,м^2$. Разнос между антеннами 40м, центры апертур антенн находятся на высоте $H_A = 25$ м над землей.

Оценить ППИ 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.12.

6.6. Порядок решения. По таблице 2 определяются: мощность, излучаемая одной антенной, Р = 5 кВт = 5000 Вт (при кпд АФТ равном 1); длина волны $\lambda_{ср} = 0{,}3$ м; размеры антенны $a \times a = 30 \times 30\ м^2$; КНД антенны $D_{0,дБ} = 47$ дБ.

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

6.7. **Расчет ППИ, создаваемой антенной А1 в точке М.**

6.7.1. Находится расстояние $R_М$ и угол $\theta_М$:

$$R_М = \sqrt{(H_А - H_Т)^2 + \rho_М^2} = \sqrt{(H_А - H_Т)^2 + z^2 + y^2} =$$

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

$$\theta_М = \arccos\left\{\left[\rho_М \cdot \cos\varphi \cdot \cos\alpha - (H_А - H_Т)\sin\alpha\right] / R_М\right\}.$$

Для $\alpha = 0$, $\varphi = \text{arcctg}(y / z) = \text{arcctg}(20/100) = 11{,}31^0$,

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

$$\theta_М = \arccos\left[(102 \cdot \cos 11{,}31^0) / 104{,}5\right] = 16{,}8^0.$$

6.7.2. Находится граничное расстояние

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

6.7.3. Определяются координаты x и u:

$$x = R_М / R_{гр} = 104{,}5 / 6000 = 0{,}017,$$

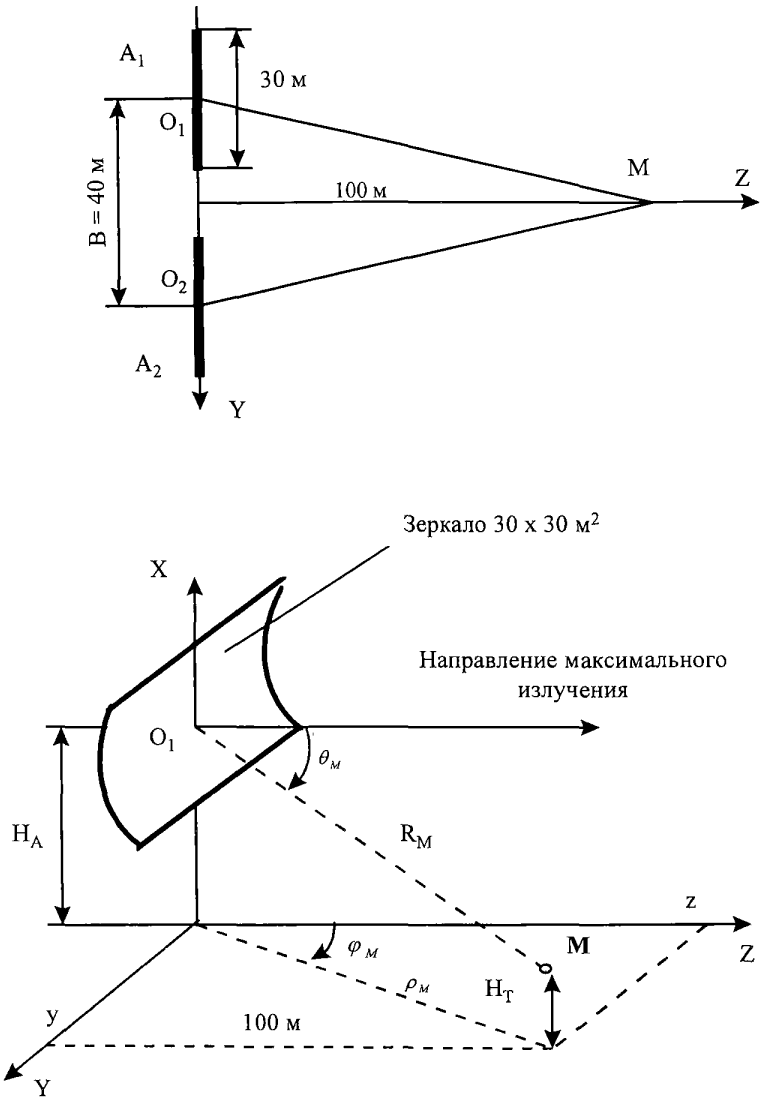


Рис.12. Иллюстрации к примеру расчета ППИ от антенн ТРРСП

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

6.7.4. По графику рис.4 определяется функция $20\lg[B(x)/x] = 12{,}6$ дБ.

6.7.5. По таблице 6 определяется функция $20\lg F(u,x) = -29$ дБ.

6.7.6. По формуле (4.12) рассчитывается

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

$$= 10\lg(5000 \cdot 0{,}3^2 / 30^4) + 47 + 12{,}6 - 29 + 3 = 1{,}05 \text{ дБ}.$$

6.7.7. Угол раскрыва зеркала антенны с размерами $30 \times 30\,м^2$ $2\psi_0$ равен 40^0. По графику рис.9 определяется $D_{Обл,дБ} = 10\lg D_{Обл} = 9{,}6$ дБ.

6.7.8. По формуле (4.13) рассчитывается

$$\Pi_{Обл} = 10\lg(P / 4\pi R_M^2) + 10\lg D_{Обл} + 10 =$$

$$= 10\lg[5000 / (4\pi \cdot 104{,}5^2)] + 9{,}6 + 10 = 5{,}22 \text{ дБ}.$$

6.7.9. По формуле (6.14) рассчитывается ППИ, создаваемая в точке М антенной $A_1 - \Pi_1$:

$$\Pi_1 = 10^{\Pi_{A,дБ}/10} + 10^{\Pi_{Обл,дБ}/10} = 10^{0{,}105} + 10^{0{,}522} = 4{,}6 \text{ мкВт/см}^2.$$

6.8. **Расчет ППИ, создаваемой антенной А2 в точке М.**

6.8.1. В силу симметрии расположения точки М относительно антенн A_1 и A_2 ППИ, создаваемая антенной A_2 в точке М, будет равна ППИ, создаваемой в этой точке антенной A_1, т.е. $\Pi_1 = \Pi_2 = 4{,}6$ мкВт/см^2.

6.8.2. Суммарная ППИ в точке М от совокупности антенн A_1 и A_2 будет равна $\Pi = \Pi_1 + \Pi_2 = 4{,}6 + 4{,}6 = 9{,}2$ мкВт/см^2.

Вывод: ППИ в точке М близка к ПДУ равного 10 мкВт/см^2.

Пример 3

6.9. Постановка задачи.

Техническое средство - ССП. Передатчик работает на длине волны λ = 0,05 м. Мощность передатчика P = 3 кВт. Используется антенна Кассегрена с углом раскрыва $2\psi_0 = 180^0$ и $D_0 = 50$ дБ. Диаметр апертуры d = 7 м. Высота центра апертуры над землей H_A = 7 м. Направление максимального излучения составляет с плоскостью горизонта угол $\alpha = 10^0$. Рассчитать ППИ в точках M и N. Исходные данные: H_M = 2 м, $\varphi_M = 5^0$, ρ_M = 300м , H_N = 4 м, $\varphi_N = 120^0$, ρ_N = 7м. Постановка задачи иллюстрируется рис.13.

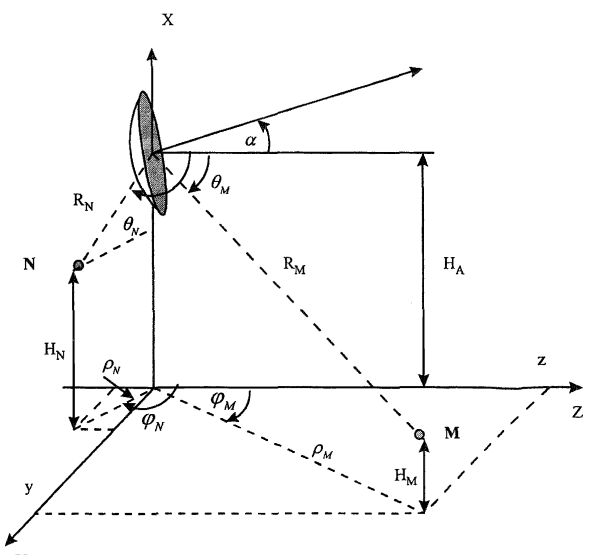


Рис.13. Иллюстрации к примеру расчета ППИ от антенны ССП

6.10. **Расчет ППИ в точке М.**

6.10.1. Находится расстояние $R_М$ и угол $\theta_М$:

$$R_М = \sqrt{\left(H_А - H_М\right)^2 + \rho_М^2} = \sqrt{(7-2)^2 + 300^2} \approx 300 \text{ м};$$

$$\theta_М = \arccos\left\{\left[\rho_М \cdot \cos\varphi_М \cdot \cos\alpha - \left(H_А - H_М\right)\cdot \sin\alpha\right] / R_М\right\} =$$

$$= \arccos\left\{\left[300 \cdot \cos 5^0 \cdot \cos 10^0 - (7-2)\cdot \sin 10^0\right] / 300\right\} = 12^0.$$

6.10.2. Находится граничное расстояние

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

6.10.3. Определяются координаты x и u в точке М:

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

$$u = \left(\pi d \sin\theta_М\right) / \lambda = \left(\pi \cdot 7 \cdot \sin 12^0\right) / 0{,}05 = 91{,}4.$$

6.10.4. По графику рис.4 определяется функция

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

6.10.5. По таблице 4 определяется функция

$$20\lg F(u, x) = -52{,}5 \text{ дБ}.$$

6.10.6. По формуле (4.12) рассчитывается

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

$$= 10\lg\left(3000 \cdot 0{,}05^2 / 7^4\right) + 50 + 14 - 52{,}5 + 3 = -10{,}5 \text{ дБ}.$$

6.10.7. По графику рис.9 определяется

$$D_{Обл,дБ} = 10\lg D_{Обл} = 3 \text{ дБ}.$$

6.10.8. По формуле (4.13) рассчитывается

$$П_{Обл} = 10\lg\left(P / 4\pi R_М^2\right) + 10\lg D_{Обл} + 10 =$$

$$= 10\lg\left[3000 / \left(4\pi \cdot 300^2\right)\right] + 3 + 10 = -12{,}8 \text{ дБ}.$$

6.10.9. По формуле (4.14) рассчитывается суммарная ППИ, в точке М:

$$П = 10^{П_{А,дБ}/10} + 10^{П_{Обл,дБ}/10} = 10^{-1{,}05} + 10^{-1{,}28} = 0{,}14 \text{ мкВт/см}^2.$$

Вывод: ППИ в точке М меньше ПДУ равного 10 мкВт/см^2.

6.11. **Расчет ППИ в точке N.**

6.11.1. Находится расстояние R_N и угол θ_N :

$$R_N = \sqrt{\left(H_A - H_N\right)^2 + \rho_N^2} = \sqrt{(7-4)^2 + 7^2} = 7{,}6 \text{ м},$$

$$\theta_N = \arccos\left\{\left[\rho_N \cdot \cos\varphi_N \cdot \cos\alpha - \left(H_A - H_N\right)\cdot \sin\alpha\right] / R_N\right\} =$$

$$= \arccos\left\{\left[7 \cdot \cos 120^0 \cdot \cos 10^0 - (7-4)\cdot \sin 10^0\right] / 7{,}6\right\} = 121^0.$$

6.11.2. Определяются координаты x и u :

$$x = R_N / R_{гр} = 7{,}6 / 1960 = 0{,}0039 ,$$

$$u = \left(\pi d \sin\theta_N\right) / \lambda = \left(\pi \cdot 7 \cdot \sin 121^0\right) / 0{,}05 = 377 .$$

6.11.3. Поскольку $\theta_N > \psi_0, x < 0{,}005$, то порядок дальнейшего расчета ППИ в точке N будет отличаться от расчета ППИ в точке M.

6.11.4. Рассчитывается коэффициент защитного действия τ_a по формуле (4.15):

$$\tau_a = -7{,}33 - 10\lg D_0 - 20\lg\sin\left(\frac{\psi_0}{2}\right) =$$

$$= -7{,}33 - 50 - 20\lg\sin 45^0 = -54{,}3 \text{ дБ}.$$

6.11.5. Вычисляется величина $П_s$ по формуле (4.18):

$$П_s = 400P / (\pi d^2 0{,}65) = 400 \cdot 3000 / (\pi \cdot 7^2 \cdot 0{,}65) = 11992$$

мкВт/см^2.

6.11.6. Вычисляется П(0,005) для параметров $x = 0{,}005$ и $u = 0$:

- по графику рис.4 определяется функция $20\lg[B(x)/x] = 14{,}5$ дБ;
- $F(0;0{,}005) = 0$ всегда для $u = 0$;
- по формуле (4.12) рассчитывается $П_A(0{,}005)$:

$$П_A(0{,}005) = 10\lg\frac{P\lambda^2}{d^4} + 10\lg D_0 + 20\lg\frac{B(x)}{x} + 20\lg F(u,x) + 3 =$$

$$= 10\lg\left(3000 \cdot 0{,}05^2 / 7^4\right) + 50 + 14{,}5 + 3 = 42{,}5 \text{ дБ}.$$

6.11.7. Величина $П_{Обл}$ рассчитывается по формуле (4.13) с учетом того, что $R = 0{,}005 \cdot R_{гр} = 9{,}8$ м:

$$П_{Обл} = 10\lg\left(P / 4\pi R^2\right) + 10\lg D_0 + 10 =$$

$$= 10\lg\left[3000 / \left(4\pi \cdot 9{,}8^2\right)\right] + 3{,}2 + 10 = 17{,}2 \text{ дБ}$$

Значение $10\lg D_0 = 3{,}2$ получено из графика рис.4.

6.11.8. По формуле (4.14) рассчитывается

$$П(0{,}005) = 10^{П_{А,дБ}(0{,}005)/10} + 10^{П_{Обл,дБ}/10} =$$

$$= 10^{4{,}25} + 10^{1{,}72} = 17835 \text{ мкВт/см}^2.$$

6.11.9. По формуле (4.19) рассчитывается $П(0)$ для $x = 0{,}0039$ и $u = 0$:

$$П(0) = 10^{\left[\lg П(0{,}005) + \frac{0{,}005 - x}{0{,}005}\lg\left(\frac{П_s}{П(0{,}005)}\right)\right]} =$$

$$= 10^{\left[\lg 17835 + \frac{0{,}005 - 0{,}0039}{0{,}005}\lg\left(\frac{11992}{17835}\right)\right]} = 16346 \text{ мкВт/см}^2.$$

6.11.10. Вычисляется $П(180)$ - величина ППИ при $\theta = 180^0$ по формуле (4.16):

$$П(180) = П(0) \cdot 10^{\frac{\tau_э}{10}} = 16346 \cdot 10^{-5{,}43} = 0{,}061 \text{ мкВт/см}^2.$$

6.11.11. Рассчитывается ППИ для $x = 0{,}005$ в направлении $\theta = 90^0$:

- параметр $u = \left(\pi d \sin\theta\right) / \lambda = \left(\pi \cdot 7 \cdot \sin 90^0\right) / 0{,}05 = 440$;

- $F(u, x)$ определяется по таблице 5 линейной интерполяцией между значениями $F(400;0{,}005)$ и $F(500;0{,}005)$:

$$F(440,0{,}005) = -50 + \frac{-60 + 50}{100} \cdot 40 = -54 \text{ дБ};$$

- $П_А$ вычисляется по формуле (4.12):

$$П_А = 10\lg\left(3000 \cdot \frac{0{,}05^2}{7^4}\right) + 50 + 14{,}5 - 54 + 3 = -11{,}6 \text{ дБ};$$

- $П_{Обл.дБ} = 17{,}2$ дБ из пункта 6.11.7;

- $П = 10^{-1{,}16} + 10^{1{,}72} = 52{,}5$ мкВт/см^2.

6.11.12. Рассчитывается ППИ для $x = 0{,}0039$ в направлении $\theta = 90^0$:

$$П(90) = 10^{\left[\lg 52{,}5 + \frac{0{,}005 - 0{,}0039}{0{,}005} \lg\left(\frac{11992}{52{,}5}\right)\right]} = 173 \text{ мкВт/см}^2.$$

6.11.13. Рассчитывается ППИ в расчетной точке N по формуле (4.17.):

$$П(\theta) = 10^{\left[\lg П(\beta) + \frac{\beta - \theta}{180 - \beta} \lg\left(\frac{П(90)}{П(180)}\right)\right]} =$$

$$= 10^{\left[\lg 173 + \frac{90^0 - 121^0}{90^0} \lg\left(\frac{173}{0.061}\right)\right]} = 11{,}2 \text{ мкВт/см}^2.$$

Вывод: ППИ в точке N превышает ПДУ равный10 мкВт/см^2.

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, азиму-

та 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;

- при выборе площадок для проведения измерений следует учесть, чтобы в радиусе до 10 м отсутствовали местные предметы;

- 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 500-1000м; 100 м и более -при удалении более 1000 м.

7.3. Проведение измерений.

Для инструментального контроля используются измерители плотности потока излучения типа П3-9, П3-18 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 излучения 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 проводить 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 проводится 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 металлосодержащие 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 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 0,5 м.

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 излучения по высоте до 2 м, при этом необходимо, учитывая положение фронта волны, производить ориентацию измерительной антенны на максимум принимаемого сигнала.

При измерении ППИ 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 расчетных границ санитарных зон.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

АДЭ - антенна двухзеркальная с эллиптическим переизлучателем
АФТ - антенно-фидерный тракт
ДН - диаграмма направленности
ЗОЗ - зона ограничения застройки
ЗС - земная станция
ИСЗ - искусственный спутник Земли
КНД - коэффициент направленного действия
НПА - несимметричная параболическая антенна
ПА - параболическая антенна
ПАС - перископическая антенная система
ПДУ - предельно-допустимый уровень
ППИ - плотность потока излучения
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
ЭМО - электромагнитная обстановка
ЭМП - электромагнитное поле

Отпечатано в ГУП
Экспериментальная типография
Комитета РФ по печати
Заказ 4453. Тираж 1000.

gost.e-ecolog.ru