МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

МСЭ-Т K.52

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

(12/2004)

СЕРИЯ K: ЗАЩИТА ОТ ПОМЕХ

Руководство по соответствию предельным уровням воздействия электромагнитных полей на человека

Рекомендация МСЭ-Т K.52

Рекомендация МСЭ-Т K.52

Руководство по соответствию предельным уровням воздействия электромагнитных полей на человека

Резюме

Цель настоящей Рекомендации – оказать помощь для обеспечения соответствия безопасным пределам воздействия на человека электромагнитных полей (ЭМП), создаваемых оборудованием связи и мобильными телефонами или другими излучающими устройствами, работающими в непосредственной близости от головы пользователя. Настоящая Рекомендация предоставляет общее руководство, метод расчетов и процедуру оценки оборудования. Процедура оценки оборудования связи, основанная на предоставленных ICNIRP безопасных пределах, помогает пользователям определить вероятность соответствия оборудования на основе критериев доступности, свойств антенны и мощности излучателя. Рекомендуется стандарт МЭК для измерения соответствия мобильных телефонов.

Источник

Рекомендация МСЭ-Т K.52 утверждена 14 декабря 2004 года 5-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2005−2008 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации МСЭ-Т A.8.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи. Сектор стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т) – постоянный орган МСЭ. МСЭ-Т отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов и за выпуск Рекомендаций по ним с целью стандартизации электросвязи на всемирной основе.

Всемирная ассамблея по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяет темы для изучения Исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают Рекомендации по этим темам.

Утверждение Рекомендаций МСЭ-Т осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию МСЭ-Т, необходимые стандарты разрабатываются на основе сотрудничества с ИСО и МЭК.

ПРИМЕЧАНИЕ

В настоящей Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

Соответствие положениям данной Рекомендации является добровольным делом. Однако в Рекомендации могут содержаться определенные обязательные положения (для обеспечения, например, возможности взаимодействия или применимости), и тогда соответствие данной Рекомендации достигается в том случае, если выполняются все эти обязательные положения. Для выражения требований используются слова "shall" ("следует", "обязан") или некоторые другие обязывающие термины, такие как "must" ("должен"), а также их отрицательные эквиваленты. Использование таких слов не предполагает, что соответствие данной Рекомендации требуется от каждой стороны.

ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на то, что практическое применение или реализация этой Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, обоснованности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, отстаиваются ли они членами МСЭ или другими сторонами вне процесса подготовки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ не получил извещения об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для реализации этой Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что это может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ.

© ITU 2005

Все права сохранены. Никакая часть данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких-либо средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
1	Область применения	1
2	Ссылки	1
3	Термины и определения	2
4	Сокращения и акронимы	5
5	Общие принципы	5
5.1	Несколько источников и несколько частот	6
5.2	Длительность воздействия	6
6	Безопасные пределы ЭМП	6
7	Соответствие для мобильных телефонов	6
8	Обеспечение соответствия безопасным пределам ЭМП для установок связи	7
8.1	Определение потребности оценки для оборудования связи	7
8.2	Процедуры оценки воздействия ЭМП	7
8.3	Процедура оценки уровня воздействия	8
9	Методы оценки ЭМП	10
9.1	Методы расчетов	10
9.2	Процедуры измерений	12
10	Методы уменьшения воздействия	13
10.1	Профессиональная зона	13
10.2	Зона превышения	13
Приложение A – Прикладная блок-схема		13
Приложение B – Основные критерии определения класса установки		15
B.1	Действительно соответствующие источники	15
B.2	Обычно соответствующие установки	15
Добавление I – Предельные уровни ICNIRP		21
I.1	Базовые предельные уровни	21
I.2	Контрольные уровни	22
I.3	Одновременное воздействие нескольких источников	24
Добавление II – Пример простой оценки воздействия ЭМП		25
II.1	Воздействие на уровне земли	25
II.2	Воздействие на соседнее здание	26
Добавление III – Пример расчета $EIRP_{th}$		28
III.1	Значения $EIRP_{th}$	28
Добавление IV – Обоснование значений $EIRP_{th}$ в таблицах в Добавлении III		35
IV.1	Действительно соответствующие источники	35
IV.2	Обычно соответствующие источники	35
БИБЛИОГРАФИЯ		37

Введение

Цель настоящей Рекомендации – оказать помощь при определении соответствия безопасным пределам воздействия на человека электромагнитных полей (ЭМП) оборудования связи и мобильных телефонов или других излучающих устройств, работающих в непосредственной близости от головы пользователя. Настоящая Рекомендация не устанавливает безопасные пределы; ее цель – обеспечить методы и процедуры оценки соответствия оборудования связи и микротелефонных трубок национальным или международным безопасным пределам ЭМП.

Рекомендация МСЭ-Т K.52

Руководство по соответствию предельным уровням воздействия электромагнитных полей на человека

1 Область применения

Цель настоящей Рекомендации – помочь определить соответствие оборудования связи безопасным пределам воздействия на человека произведенных оборудованием связи электромагнитных полей (ЭМП) в диапазоне частот от 9 кГц до 300 ГГц[1]. Настоящая Рекомендация предоставляет методы и процедуры оценки степени воздействия полей и ограничения воздействия этих полей на обслуживающий персонал и население, если эти пределы превышены.

Настоящая Рекомендация применима также к воздействию мобильных телефонов или других излучающих устройств, работающих в диапазоне частот от 300 МГц до 3 ГГц и задействованных в непосредственной близости от головы пользователя.

Если существуют национальные законы, стандарты или руководящие принципы по пределам воздействия ЭМП и в них предусмотрены процедуры, которые не согласуются с настоящей Рекомендацией, то соответствующие национальные законы, стандарты или руководящие принципы должны иметь приоритет по отношению к процедурам, предоставленным в настоящей Рекомендации.

В настоящей Рекомендации рассматриваются вопросы воздействия на людей, находящихся на объектах связи и вне объектов связи, электромагнитных полей, создаваемых оборудованием связи и оборудованием, находящимся на объектах связи.

В настоящей Рекомендации не рассматривается контактное воздействие токов, обусловленное контактом с проводящими объектами, облучаемыми электромагнитными полями.

Не рассматривается воздействие вследствие использования мобильных телефонов или других излучающих устройств, работающих в непосредственной близости от других частей человеческого тела, кроме головы.

В Рекомендации МСЭ-Т K.33, *Limits for people safety related to coupling into telecommunications system from a.c. electric power and a.c. electrified railway installations in fault conditions* (Предельные уровни для обеспечения безопасности людей, относящиеся к воздействию на неисправную систему связи оборудования переменного тока линий электропередачи и электрифицированных железных дорог переменного тока) рассматриваются проблемы безопасности для лиц, которые находятся в контакте с линиями связи, на которые воздействует индукция от линий электропередачи или электрифицированных железнодорожных дорог переменного тока.

2 Ссылки

Указанные ниже Рекомендации МСЭ-Т и другие источники содержат положения, которые путем ссылки на них в данном тексте составляют положения настоящей Рекомендации. На момент публикации указанные издания были действующими. Все Рекомендации и другие источники могут подвергаться пересмотру; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается изучить возможность применения последнего издания Рекомендаций и других источников, перечисленных ниже. Список действующих в настоящее время Рекомендаций МСЭ-Т регулярно публикуется. Ссылка на документ в данной Рекомендации не придает ему как отдельному документу статус Рекомендации.

– ITU-T Recommendation K.61 (2003), *Guidance to measurement and numerical prediction of electromagnetic fields for compliance with human exposure limits for telecommunication installations.*

– IEC 60657 (1979), *Non-ionizing radiation hazards in the frequency range from 10 MHz to 300 000 MHz.*

– IEC 60833 (1987), *Measurement of power-frequency electric fields.*

[1] Кроме того, в Добавлении I приведены пределы ICNIRP для более низких частот.

– IEC 61566 (1997), *Measurement of exposure to radio-frequency electromagnetic fields – Field strength in the frequency range 100 kHz to 1 GHz.*

– IEC 62209 (2004), *Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices – Human models, instrumentation, and procedures – Part 1: Procedure to determine the Specific Absorption Rate (SAR) for hand-held devices used in close proximity of the ear (frequency range of 300 MHz to 3 GHz).*

3 Термины и определения

В настоящей Рекомендации даны определения следующих терминов:

3.1 коэффициент усиления антенны (**antenna gain**): Коэффициент усиления антенны $G(\theta, \phi)$ – это отношение умноженной на 4π мощности, излученной в единичном телесном угле, к полной входной мощности. Коэффициент усиления часто выражают в децибелах относительно изотропной антенны (дБи). Ниже приведено уравнение, определяющее коэффициент усиления:

$$G(\theta,\varphi) = \frac{4\pi}{P_{in}} \frac{dP_r}{d_\Omega},$$

где:

θ, ϕ углы в полярной системе координат;

P_r излучаемая мощность в направлении (θ, ϕ);

P_{in} полная входная мощность;

Ω элементарный телесный угол в направлении наблюдения.

3.2 средняя (по времени) мощность *(P_{avg})* (**average (temporal) power**): Усредненная по времени скорость передачи энергии, определяемая выражением:

$$P_{avg} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} P(t)dt,$$

где t_1 и t_2 – время начала и прекращения воздействия. Период $t_1 – t_2$ – это время продолжительности воздействия.

3.3 время усреднения *(T_{avg})* (**averaging time**): Время усреднения – соответствующий период времени, в котором усредняется воздействие для определения соответствия пределам.

3.4 непрерывное воздействие (**continuous exposure**): Непрерывное воздействие определяется как воздействие, продолжительность которого превышает соответствующее время усреднения. Воздействие, продолжительность которого меньше времени усреднения, называют кратковременным воздействием.

3.5 контактный ток (**contact current**): Контактный ток – это ток, втекающий в тело человека при контакте с проводящим объектом в электромагнитном поле.

3.6 контролируемое/профессиональное воздействие (облучение) (**controlled/occupational exposure**): Контролируемое/профессиональное облучение применимо к ситуациям, в которых данное воздействие на людей является следствием их работы и в которых лица, подвергаемые облучению, в полной мере осознают возможность такого воздействия и могут осуществлять контроль над их облучением. Профессиональное/контролируемое облучение также применяется тогда, когда данное воздействие носит временный характер в результате случайного прохода через место, в котором предельные уровни облучения могут превышать пределы воздействия на обычное население/пределы неконтролируемого воздействия, если лицо, которое было подвергнуто облучению, в полной мере осознавало возможность такого воздействия, и указанное лицо может контролировать воздействие на него, покидая эту зону или используя другие соответствующие средства.

3.7 коэффициент направленного действия (**directivity**): Коэффициент направленного действия – это отношение мощности, излучаемой в единичном телесном угле, к средней мощности, излучаемой в этом же угле.

3.8 эквивалентная изотропно излучаемая мощность (э.и.и.м.) (**Equivalent Isotropically Radiated Power (EIRP)**): э.и.и.м. – это произведение передаваемой в антенну мощности и максимального коэффициента усиления антенны относительно изотропной антенны.

3.9 воздействие (облучение) (**exposure**): Облучение происходит всегда, когда человек подвергается воздействию электрических, магнитных или электромагнитных полей или контактирует с токами, кроме тех токов, которые образуются в результате физиологических процессов в теле или других природных явлений.

3.10 уровень воздействия (**exposure level**): Уровень воздействия (облучения) – это количественное значение, которое используется, когда человек подвергается воздействию электромагнитных полей или контактных токов.

3.11 неоднородное воздействие/воздействие на часть тела (**exposure, non-uniform/partial body**): Неоднородное воздействие или воздействие на часть тела происходит при неоднородности полей в объемах, сопоставимых со всем телом человека. Это может иметь место при использовании сильно направленных источников, стоячих волн, рассеянного излучения или поля в ближней зоне.

3.12 дальняя зона (**far-field region**): Та часть поля антенны, где угловое распределение поля мало зависит от расстояния до антенны. В дальней зоне поле в основном соответствует полю плоской волны, то есть оно характеризуется локально однородным распределением напряженности электрического поля и магнитного поля в плоскостях, перпендикулярных к направлению распространения волны.

3.13 население (**general public**): Все лица, кроме обслуживающего персонала (см. определение обслуживающего персонала в п. 3.27), определены как население.

3.14 наведенный ток (**induced current**): Наведенный ток – это ток, вызванный в теле в результате прямого воздействия электрических, магнитных или электромагнитных полей.

3.15 преднамеренный излучатель (**intentional emitter**): Преднамеренный излучатель – это устройство, которое преднамеренно генерирует и испускает электромагнитную энергию путем излучения или индукции.

3.16 ближняя зона (**near-field region**): Ближняя зона существует вблизи антенны или другой излучающей структуры; в ней электрические и магнитные поля, как правило, далеки от соответствующих полей плоской волны, но значительно изменяются при перемещении от одной точки в другую. Ближняя зона дополнительно подразделяется на реактивную зону (зону индукции), которая находится ближе всего к излучающей структуре и которая содержит бóльшую часть или почти всю запасенную энергию, и промежуточную (излучающую) зону, в которой поле излучения преобладает над полем индукции, но оно весьма отличается от поля плоской волны и имеет сложную структуру.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Для многих антенн считается, что внешняя граница ближней зоны индукции находится на расстоянии половины длины волны от поверхности антенны.

3.17 плотность мощности *(S)* (**power density**): Плотность потока мощности – это мощность в расчете на единицу площади, перпендикулярной к направлению распространения электромагнитной волны; обычно она выражается в ваттах в квадратный метр (Вт/м^2).

ПРИМЕЧАНИЕ. – Для плоских волн плотность потока мощности, напряженность электрического поля *(E)* и напряженность магнитного поля *(H)* связаны с помощью внутреннего полного сопротивления свободного пространства, η_0 = 377 Ом. В частности,

$$S = \frac{E^2}{\eta_0} = \eta_0 H^2 = EH \ ,$$

где E и H выражены в В/м и А/м, соответственно, а S – в Вт/м^2. Хотя многие дозиметрические приборы проградуированы в единицах плотности потока мощности, фактически измеряемыми величинами являются E или H.

3.18 средняя (по времени) плотность мощности (**power density, average (temporal)**): Средняя плотность мощности равна мгновенной плотности мощности, интегрированной по периоду повторения источника.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Это усреднение не следует путать с усреднением по времени измерения.

3.19 пиковая плотность мощности (**power density, peak**): Пиковая плотность мощности – это максимальное мгновенное значение плотности мощности при передаче энергии.

3.20 эквивалентная плотность мощности плоской волны *(S_{eq})* (**power density, plane-wave equivalent**): Эквивалентная плотность мощности плоской волны – это обычно используемый термин, связанный с любой электромагнитной волной, плотность потока мощности которой равна плотности потока мощности плоской волны, имеющей такую же напряженность электрического *(E)* или магнитного поля *(H)*.

3.21 относительная диаграмма направленности поля (**relative field pattern**): Относительная диаграмма направленности поля $f(\theta,\phi)$ определяется в настоящей Рекомендации как отношение абсолютного значения напряженности поля (в качестве которого произвольно взято электрическое поле) к

абсолютному значению максимальной напряженности этого поля. Она следующим образом связана с относительным числовым значением коэффициента усиления (см. п. 3.22):

$$f(\theta,\phi) = \sqrt{F(\theta,\phi)}$$

3.22 относительное числовое значение коэффициента усиления (**relative numeric gain**): Относительное числовое значение коэффициента усиления, $F(\theta, \phi)$, – это отношение коэффициента усиления антенны под каждым заданным углом к максимальному коэффициенту усиления антенны. Это значение изменяется в пределах от 0 до 1. Его также называют диаграммой направленности антенны.

3.23 кратковременное воздействие (**short-term exposure**): Термин "кратковременное воздействие" относится к воздействию с продолжительностью меньшей, чем соответствующее время усреднения.

3.24 удельное поглощение *(SA)* (**specific absorption**): Удельное поглощение – это отношение приращенной энергии (*dW*), поглощенной (рассеянной) в приращенной массе (*dm*), содержащейся в элементе объема (*dV*) при заданной плотности (ρ_m).

$$SA = \frac{dW}{dm} = \frac{1}{\rho_m}\frac{dW}{dV}$$

Удельное поглощение выражается в джоулях на килограмм (Дж/кг).

3.25 коэффициент удельного поглощения *(SAR)* (**specific absorption rate**): Производная по времени от приращенной энергии (*dW*), поглощенной (рассеянной) в приращенной массе (*dm*), содержащейся в элементе объема (*dV*) при заданной плотности массы (ρ_m).

$$SAR = \frac{d}{dt}\frac{dW}{dm} = \frac{d}{dt}\frac{1}{\rho_m}\frac{dW}{dV}$$

SAR выражается в ваттах на килограмм (Вт/кг).

SAR можно рассчитать по следующим формулам:

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho_m}$$

$$SAR = c\frac{dT}{dt}$$

$$SAR = \frac{j^2}{\rho_m \sigma},$$

где:

E среднеквадратичное значение напряженности электрического поля в ткани тела в В/м;

σ проводимость ткани тела в См/м;

ρ_m плотность ткани тела в кг/м^3;

c теплоемкость ткани тела в Дж/кг°С;

$\frac{dT}{dt}$ производная температуры ткани тела по времени в °С/с;

J значение наведенной плотности тока в ткани тела в А/м^2.

3.26 воздействие на население/неконтролируемое воздействие (**general population/uncontrolled exposure**): Воздействие на население/неконтролируемое воздействие применяется в ситуациях, в которых возможно облучение или воздействие на население, либо когда лица подвергаются воздействию (облучению) вследствие их работы, но они могут не знать в полной мере о возможности такого воздействия, или если невозможно проконтролировать воздействие на них.

3.27 обслуживающий персонал (**workers**): Нанятых и работающих не по найму лиц называют обслуживающим персоналом, если они выполняют свои служебные обязанности.

3.28 непреднамеренный излучатель (**unintentional emitter**): Непреднамеренный излучатель – это устройство, которое преднамеренно генерирует электромагнитную энергию для использования внутри устройства или которое передает электромагнитную энергию посредством электропроводности другому оборудованию, которое не предназначено для испускания или излучения электромагнитной энергии, используя излучение или индукцию.

3.29 длина волны (λ) (**wavelength**): Длина электромагнитной волны связана с частотой (f) и скоростью (v) электромагнитной волны следующим выражением:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

При распространении волны в свободном пространстве эта скорость равна скорости света (c), которая приблизительно равна 3×10^8 м/с.

4 Сокращения и акронимы

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения:

EIRP Эквивалентная изотропно излучаемая мощность (э.и.и.м.)

ЭМС Электромагнитная совместимость

EMF Электромагнитное поле (ЭМП)

ICNIRP Международная комиссия по защите от неионизирующих излучений

SA Удельное поглощение

SAR Коэффициент удельного поглощения

5 Общие принципы

Существует множество национальных и международных документов, которые предоставляют безопасные пределы по воздействию ЭМП на человека. Несмотря на то, что эти документы различаются в частностях, в большинстве документов используются несколько общих основных принципов. Эти принципы включают использование базовых предельных уровней и контрольных уровней, двухуровневых пределов воздействия, времени усреднения, а также раздельное рассмотрение воздействия низкочастотных и высокочастотных полей.

В большинстве документов указываются безопасные пределы, исходя из базовых пределов и контрольных (или производных) уровней. Базовые предельные уровни относятся к фундаментальным величинам, которые определяют физиологическую реакцию человеческого тела на электромагнитные поля. Базовые предельные уровни применяются к ситуациям, когда человек находится в поле. Базовые предельные уровни для воздействия на человека выражаются в виде коэффициента удельного поглощения (SAR), удельного поглощения (SA) и плотности тока.

Поскольку базовые величины трудно измерить непосредственно, большинство документов предоставляет производные (контрольные) уровни напряженности электрического поля, магнитного поля и плотности мощности. Контрольные уровни могут быть превышены, если можно показать, что условия воздействия для создания значений SAR, SA и наведенной плотности тока ниже базовых предельных уровней. Контрольные уровни относятся к ситуации, когда присутствие человека не влияет на электромагнитное поле.

В большинстве документов используется двухуровневая структура пределов, в которой более низкие уровни определены для неконтролируемого воздействия/воздействия на население, а более высокие уровни определены для контролируемого/профессионального воздействия.

Важно подчеркнуть, что пределы воздействия не являются пределами излучения; они относятся к местам, доступным для обслуживающего персонала или населения. Таким образом, можно достичь соответствия, ограничивая доступ в те зоны, где превышены уровни полей.

5.1 Несколько источников и несколько частот

В большинстве документов требуется учитывать воздействие нескольких источников. Из-за различного физиологического воздействия низкочастотных источников и высокочастотных источников их следует рассматривать раздельно. Обычно на частотах ниже 10 МГц важные физиологические воздействия происходят из-за плотности наведенных токов, в то время как на частотах, превышающих 100 кГц, важное физиологическое воздействие обычно вызвано SAR.

При рассмотрении воздействия нескольких источников в большинстве документов требуется, чтобы источники рассматривались как взвешенная сумма, причем вес каждого отдельного источника пропорционален предельному уровню, применяемому к его частоте. Такая процедура, основанная на руководящих принципах ICNIRP, изложена в Добавлении I.

5.2 Длительность воздействия

Большинство документов определяет пределы воздействия, исходя из величин, усредненных по периоду времени, который называется временем усреднения. В случае кратковременного воздействия, продолжительность которого меньше времени усреднения, применяется следующий предел:

$$\sum_i X_i^2 t_i \le X_l^2 t_{avg} ,$$

где:

X_i напряженность поля (E или H) в течение i-го воздействия;

t_i продолжительность i-го воздействия;

X_l контрольный уровень;

t_{avg} соответствующее время усреднения.

Уровень плотности мощности равен:

$$\sum_i S_i t_i \le S_l t_{avg} ,$$

где:

S_i плотность мощности в течение i-го воздействия;

t_i продолжительность i-го воздействия;

S_l контрольный уровень;

t_{avg} соответствующее время усреднения.

6 Безопасные пределы ЭМП

Во многих случаях локальные или национальные регламентарные органы или органы стандартизации публикуют безопасные пределы ЭМП. Если такие пределы не существуют, или если они не охватывают требуемые частоты, то следует использовать пределы ICNIRP (Добавление I).

7 Соответствие для мобильных телефонов

Для мобильных телефонов или других излучающих устройств, работающих в частотном диапазоне от 300 МГц до 3 ГГц и задействованных в непосредственной близости от головы пользователя, соответствие безопасным пределам ICNIRP можно обеспечить, применяя процедуры измерения для SAR, приведенные в документе IEC 62209 (2004). Кроме того, в некоторых случаях локальные или национальные регламентарные органы или органы стандартизации могут рекомендовать национальные или региональные практические методы измерения в духе документа IEC 62209 для получения значения SAR для мобильных телефонов, задействованных в непосредственной близости от головы пользователя.

8 Обеспечение соответствия безопасным пределам ЭМП для установок связи

Для обеспечения соответствия необходимо предпринять следующие действия:

1) Определить требуемые пределы соответствия.

2) Определить необходимость оценки воздействия ЭМП для рассматриваемого оборудования установки. (См. п. 8.1.)

3) Если требуется оценка воздействия ЭМП, она может выполняться расчетным путем или с помощью измерений. В настоящей Рекомендации представлен подход к оценке рисков, который помогает пользователю определить возможность превышения пределов воздействия ЭМП и облегчает выбор пользователем соответствующего метода получения такой оценки.

4) Если оценка воздействия ЭМП показывает, что соответствующие пределы воздействия могут быть превышены в тех зонах, где могут присутствовать люди, то следует использовать меры для уменьшения/избежания такого воздействия.

8.1 Определение потребности оценки для оборудования связи

Оборудование связи должно быть классифицировано как преднамеренный или непреднамеренный излучатель ЭМП в соответствии с приведенными выше определениями. Как правило, преднамеренный излучатель имеет антенну для излучения электромагнитной энергии.

8.1.1 Непреднамеренные излучатели

Непреднамеренные излучатели могут создавать ЭМП вследствие побочных излучений. Существуют стандарты излучения для обеспечения ЭМС, которые ограничивают величину таких побочных полей. Как правило, поля, создаваемые оборудованием связи, которое является непреднамеренным излучателем, значительно ниже безопасных пределов, установленных ICNIRP и национальными стандартами. Пределы, установленные для соответствия показателям ЭМС, на несколько порядков величины ниже безопасных пределов ЭМП. Даже если оборудование превышает пределы излучения на определенных частотах, имеющийся опыт показывает, что созданные поля все еще на несколько порядков величины ниже безопасных пределов. Поэтому оборудование связи, которое является непреднамеренным излучателем, не нуждается в оценке безопасности по ЭМП для обеспечения соответствия безопасным пределам.

8.1.2 Преднамеренные излучатели

Преднамеренные излучатели используют электромагнитные поля для передачи сигналов. Они создают ЭМП, которые могут превышать безопасные пределы в некоторых областях в зависимости от рабочей мощности, коэффициента усиления, частоты, ориентации и направленности передающей антенны. Можно принять во внимание эти параметры и рабочую окружающую среду установки, чтобы определить потребность и соответствующую процедуру оценки воздействия. В настоящей Рекомендации представлен подход к оценке рисков, основанный на классификации зон воздействия.

8.2 Процедуры оценки воздействия ЭМП

Если определено, что оценка воздействия ЭМП необходима из-за наличия преднамеренных излучателей, то она должна производиться для всех местоположений, где возможно облучение людей ЭМП. Цель данной оценки заключается в том, чтобы классифицировать потенциальное воздействие ЭМП как принадлежащее одной из трех следующих зон:

1) **Зона соответствия**: В зоне соответствия потенциальное воздействие ЭМП ниже применимых пределов для контролируемого/профессионального воздействия и для неконтролируемого воздействия/воздействия на население.

2) **Профессиональная зона**: В профессиональной зоне потенциальное воздействие ЭМП ниже применимых пределов контролируемого/профессионального воздействия, но оно превышает применимые пределы для неконтролируемого воздействия/воздействия на население.

3) **Зона превышения**: В зоне превышения потенциальное воздействие ЭМП превышает применимые пределы как для контролируемого/профессионального воздействия, так и для неконтролируемого воздействия/воздействия на население.

Для многих установок зона превышения и профессиональная зона недоступны для людей или доступны только при необычных обстоятельствах, например, когда человек стоит непосредственно перед антенной. Представленная в настоящей Рекомендации процедура оценки риска касается прежде всего воздействия на население и обслуживающий персонал в ходе их обычных действий. См. рисунок 1.

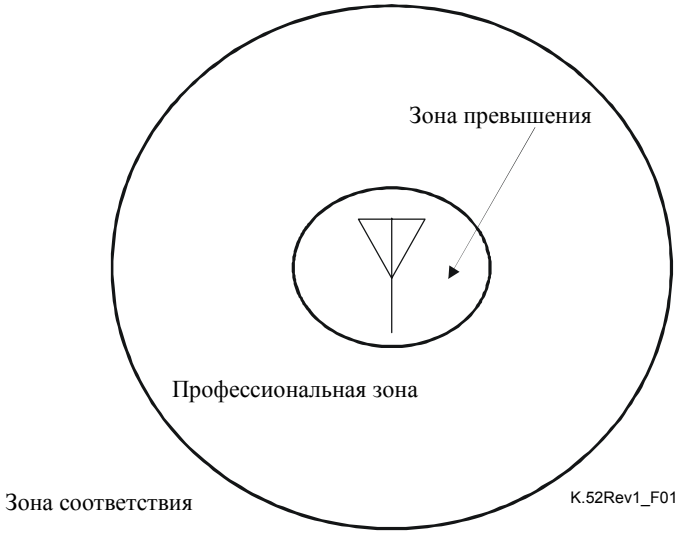


Рисунок 1/K.52 – Символическая иллюстрация зон воздействия

8.3 Процедура оценки уровня воздействия

Оценка уровня воздействия должна учитывать следующее:

- наихудшие условия излучения;
- одновременное присутствие нескольких источников ЭМП, даже излучающих на различных частотах.

Необходимо учитывать следующие параметры:

- максимальную э.и.и.м. антенной системы (см. определение эквивалентной изотропно излучаемой мощности (э.и.и.м.);

  ПРИМЕЧАНИЕ. – Максимальная э.и.и.м. должна рассчитываться для средней мощности передатчика. Для большинства источников средняя мощность передатчика – это номинальная мощность передатчика. Однако существуют и исключения. Например, средняя мощность передатчика меньше номинальной мощности передатчика для аналогового телевидения и больше номинальной мощности передатчика при AM DSB (амплитудной модуляции сигнала с двойной боковой полосой).
- коэффициент усиления антенны, G (см. определение коэффициента усиления антенны), или относительного числового коэффициента усиления, F (см. определение относительного числового коэффициента усиления), включая максимальный коэффициент усиления антенны и ширину луча;
- рабочую частоту; и
- различные характеристики рассматриваемой установки, такие как расположение антенны, высоту антенны, направление луча, наклон луча и оценку вероятности того, что человек может быть подвергнут воздействию ЭМП.

Чтобы управлять процедурой и этими параметрами, вводится следующая схема классификации.

8.3.1 Схема классификации установок

Каждая излучающая установка должна классифицироваться согласно трем следующим классам:

1) **Действительно соответствующая (Inherently compliant) установка**: Действительно безопасные источники создают поля, которые соответствуют допустимым пределам воздействия на расстоянии несколько сантиметров от источника. Специальные меры предосторожности не требуются.

2) **Обычно соответствующая (Normally compliant) установка**: Обычно соответствующие установки содержат источники, которые создают ЭМП, которые могут превышать приемлемые пределы воздействия. Однако в результате использования обычно практикуемых методов инсталляции и типичного использования этих источников для связи зона превышения этих источников недоступна для людей при обычных условиях. Примерами могут служить антенны, установленные на достаточно высоких опорах или земные станции, создающие узкие лучи, направленные на спутник. Обслуживающий персонал, который приближается к излучателям некоторых обычно соответствующих установок, в ряде случаев должен соблюдать меры предосторожности.

3) **Условно соответствующая (Provisionally compliant) установка**: Эти установки требуют принятия специальных мер для обеспечения соответствия. При этом требуется определение зон воздействия и принятие мер, описанных в параграфе 9.

8.3.2 Процедура определения класса установки

Для каждой установки должен быть определен класс в виде одного из классов установок, определенных в п. 8.3.1. Предполагается, что операторы, предоставляющие конкретные услуги связи, используют ограниченный набор антенн и соответствующего оборудования с хорошо известными характеристиками. Кроме того, весьма вероятно, что установка и условия воздействия для многих мест размещения излучателей будут схожими. Поэтому можно определить набор базисных конфигураций, эталонных условий воздействия и соответствующих критических параметров, которые обеспечат удобную классификацию объектов.

Ниже излагается подходящая процедура:

1) Определите набор параметров эталонной антенны или типов антенны. Эти категории могут разбиваться по типам излучателей, используемых для конкретного применения.

2) Определите набор условий доступности. Эти категории зависят от доступности различных зон при близости излучателя к людям. Эти категории могут быть настроены на наиболее часто встречающуюся среду установки для конкретной службы или применения.

3) Для каждой комбинации параметров эталонной антенны и условия доступности определите пороговый уровень э.и.и.м. Этот пороговый уровень э.и.и.м, который будет обозначаться $EIRP_{\text{th}}$, является значением, которое соответствует пределу воздействия для плотности мощности или поля эталонной антенны для данного условия доступности. Определение может быть выполнено расчетным путем или с помощью измерений, как описано в п. 8.3.2.1 и в параграфе 9. Если данные категории являются достаточно обобщающими, то это определение должно выполняться только один раз для большинства установок.

4) Источник установки принадлежит действительно соответствующему классу, если излучатель является действительно соответствующим (как определено выше). Не требуется рассматривать другие аспекты установки.

   ПРИМЕЧАНИЕ. – В Добавлении IV показано, что действительно соответствующий источник для пределов ICNIRP имеет уровень э.и.и.м. менее 2 Вт.

5) Для каждого местоположения установка принадлежит обычно соответствующему классу, если выполняется следующий критерий:

$$\sum_i \frac{EIRP_i}{EIRP_{th,i}} \le 1,$$

где $EIRP_i$ – средняя по времени мощность излучения антенны на конкретной частоте i, а $EIRP_{th,i}$ – это пороговый уровень э.и.и.м, соответствующий конкретным параметрам антенны и условиям доступности. Для установок, имеющих несколько антенн, следует различать следующие два условия:

- Если источники имеют перекрывающиеся диаграммы направленности, определяемые с помощью ширины луча по половинной мощности, то соответствующий максимум усредненной по времени э.и.и.м. должен отвечать указанному критерию.
- Если несколько источников не перекрываются, то они должны рассматриваться независимо.

6) Местоположения объектов, которые не отвечают условиям для классификации в качестве обычно соответствующих, считаются условно соответствующими.

Для местоположений, где применение этих классов является неоднозначным, должны выполняться дополнительные вычисления или измерения.

В Приложении B приведен набор базисных конфигураций, условий воздействия, параметров и соответствующих значений $EIRP_{th}$. Набор из Приложения B должен использоваться по умолчанию, если только оператор не определит другой набор, который является подходящим для данного развертывания службы и не произведет соответствующий анализ воздействий.

8.3.2.1 Определение уровней $EIRP_{th}$

Используется следующая процедура:

1) Определите напряженность поля или плотность мощности для каждой точки O, где может иметь место воздействие для конкретной антенны.

2) Найдите максимальную плотность мощности S_{max} внутри зоны воздействия для этого набора.

3) Условие $S_{max} = S_{lim}$ задает значение $EIRP_{th}$, где S_{lim} – соответствующий предел, заданный стандартным воздействием ЭМП на соответствующей частоте.

Эта процедура может быть выполнена путем вычислений, показанных в п. 9.1, другими более точными методами вычисления или путем измерений. Если используются измерения, необходимо выполнить их в нескольких представительных местоположениях для каждой доступной конфигурации и типа антенны.

9 Методы оценки ЭМП

В этом параграфе представлены методы, которые могут использоваться в целях оценки ЭМП для установок связи. Дополнительную информацию для наземных радиовещательных систем можно найти в проекте Рекомендации МСЭ-R BS.6/BL/25.

9.1 Методы расчетов

В дополнение к базовым аналитическим методам, описанным в этом параграфе, Рекомендация МСЭ-T K.61 предоставляет руководство для выбора численных методов, подходящих для прогнозирования воздействия ЭМП в различных ситуациях.

9.1.1 Зона индукции ближнего поля

В зоне индукции ближнего поля электрические и магнитные поля необходимо рассматривать отдельно. При отсутствии искажающих поле объектов уровни полей можно рассчитывать, используя квазистатические формулы, если известно распределение токов.

9.1.2 Дальняя зона

Приведенный ниже материал представляет методы для консервативной оценки уровней напряженности полей и плотности мощности.

Для одной излучающей антенны приблизительная плотность мощности, излучаемой в направлении, заданным углами θ (углами, дополнительными к углу места) и ϕ (азимутальным углом), может быть оценена следующим выражением:

$$S(R,\theta,\phi) = \frac{EIRP}{4\pi}\left[f(\theta,\phi)\frac{1}{R} + \rho f(\theta',\phi')\frac{1}{R'} \right]^2,$$

где:

$S(R, \theta, \phi)$ плотность мощности в Вт/м^2;

$f(\theta, \phi)$ относительная диаграмма направленности по напряженности поля антенны (положительное число от 0 до 1);

$EIRP$ э.и.и.м. антенны в Вт;

ρ абсолютное значение (модуль) коэффициента отражения, он учитывает отраженную землей волну. В некоторых случаях воздействие отраженной волны может не учитываться, в этом случае значение ρ должно быть установлено на 0;

R расстояние между центральной точкой излучающего источника и предполагаемым человеком, подвергаемым облучению;

R' расстояние между центральной точкой зеркального изображения излучающего источника и предполагаемым человеком, подвергаемым облучению.

Вблизи уровня земли значения переменных со штрихом приблизительно равны значениям переменных без штриха, поэтому плотность мощности можно рассчитать следующим образом:

$$S_{gl}(R,\theta,\phi) = (1+\rho)^2 \frac{EIRP}{4\pi R^2} F(\theta,\phi),$$

где:

$F(\theta, \phi)$ относительный числовой коэффициент усиления антенны относительно изотропного излучателя (положительное число от 0 до 1).

Коэффициент отражения ρ земли, имеющей проводимость σ, диэлектрическую проницаемость $\varepsilon = \kappa\, \varepsilon_0$ (ε_0 = диэлектрическая проницаемость вакуума, κ = относительная диэлектрическая проницаемость) и угол скольжения падения Ψ, равен:

$$\rho = \left| \frac{(\kappa - j\chi)\sin\psi - \sqrt{(\kappa - j\chi) - \cos^2\psi}}{(\kappa - j\chi)\sin\psi + \sqrt{(\kappa - j\chi) - \cos^2\psi}} \right| \quad \text{вертикальная поляризация}$$

$$\rho = \left| \frac{\sin\psi - \sqrt{(\kappa - j\chi) - \cos^2\psi}}{\sin\psi + \sqrt{(\kappa - j\chi) - \cos^2\psi}} \right| \quad \text{горизонтальная поляризация,}$$

где:

$$\chi = \frac{\sigma}{\omega\varepsilon_0}$$

В общем случае отраженная волна содержит компоненты с вертикальной и горизонтальной поляризацией, которые изменяются с изменением угла падения. Однако для многих применений при вычислении коэффициента отражения достаточно рассмотреть только преобладающую поляризацию падающей волны.

Расстояния и углы определены на рисунке 2. Предполагается, что воздействие оценивается в точке O.

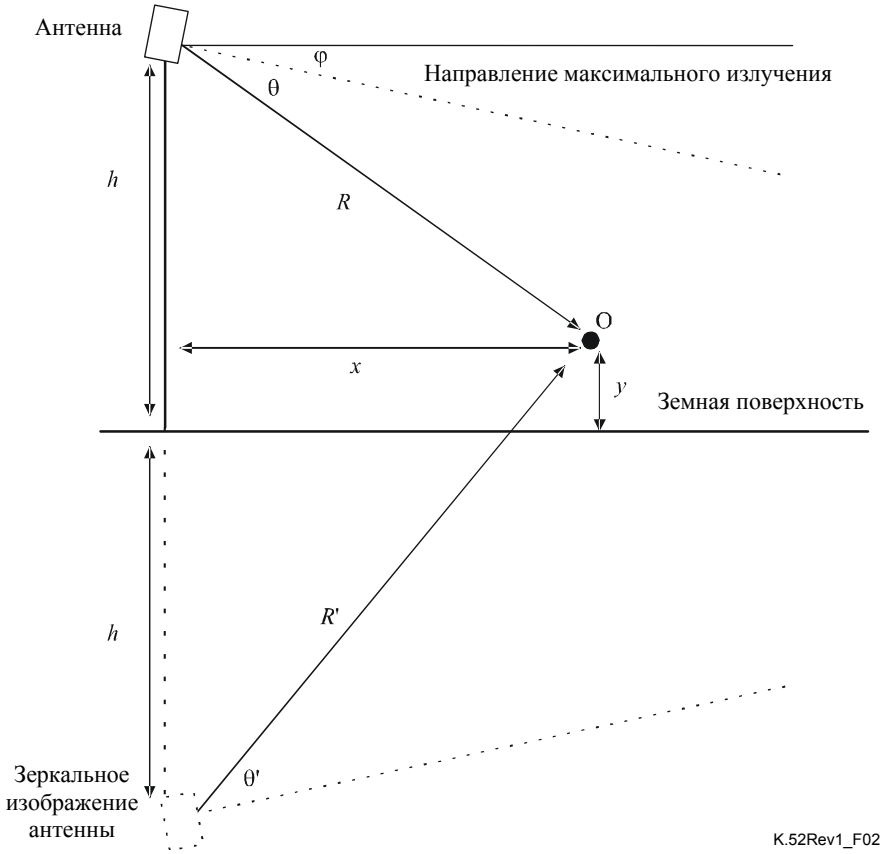


Рисунок 2/K.52 – Определение расстояний и вертикальных углов

При размещении антенны на крыше ослабление, вызванное строительными материалами стен и крыши, может снизить воздействие внутри здания по меньшей мере на 10–20 дБ.

Электрические и магнитные поля рассчитываются по формулам:

$$E = \sqrt{S\eta_0}$$

$$H = \sqrt{S/\eta_0}\ ,$$

где η_0 = 377 Ом – внутреннее полное сопротивление свободного пространства.

Приведенные выше уравнения применимы в дальней зоне. Их использование в ближней зоне может дать неточные (слишком консервативные) результаты. Таким образом, эти уравнения могут использоваться для определения соответствия пределам воздействия ЭМП.

9.2 Процедуры измерений

Измерения полезны в тех случаях, когда поля трудно рассчитать и когда вычисления приводят к значениям, близким к предельному уровню воздействия. Рекомендация МСЭ-Т K.61 предоставляет руководство по методам измерений, которые могут использоваться для проверки соответствия стандартам воздействия ЭМП. Следует также обратиться к публикациям, перечисленным в параграфе 2, и к любым применимым национальным стандартам для получения информации об измерении ЭМП. Кроме того, в нескольких публикациях, внесенных в список в разделе "Литература", содержится детальная информация об измерениях ЭМП на различных частотах.

10 Методы уменьшения воздействия

Необходимо контролировать воздействие ЭМП в местоположениях, доступных для людей, где ЭМП превышает пределы безопасного воздействия на человека. Если другие характеристики установок не могут быть изменены, то эффективный способ контроля воздействия заключается в ограничении доступа в зоны, где эти пределы превышены.

10.1 Профессиональная зона

Если ЭМП превышает пределы неконтролируемого воздействия/воздействия на население, но не превышает пределы профессионального воздействия, то доступ населения должен быть ограничен, но обслуживающему персоналу может быть разрешено входить в эту зону. Физические барьеры, процедуры блокировки или соответствующие знаки могут служить целям ограничения доступа. Персонал, входящий в профессиональную зону, должен быть проинформирован о воздействии.

Рекомендуется не устраивать постоянные рабочие места внутри профессиональной зоны.

10.2 Зона превышения

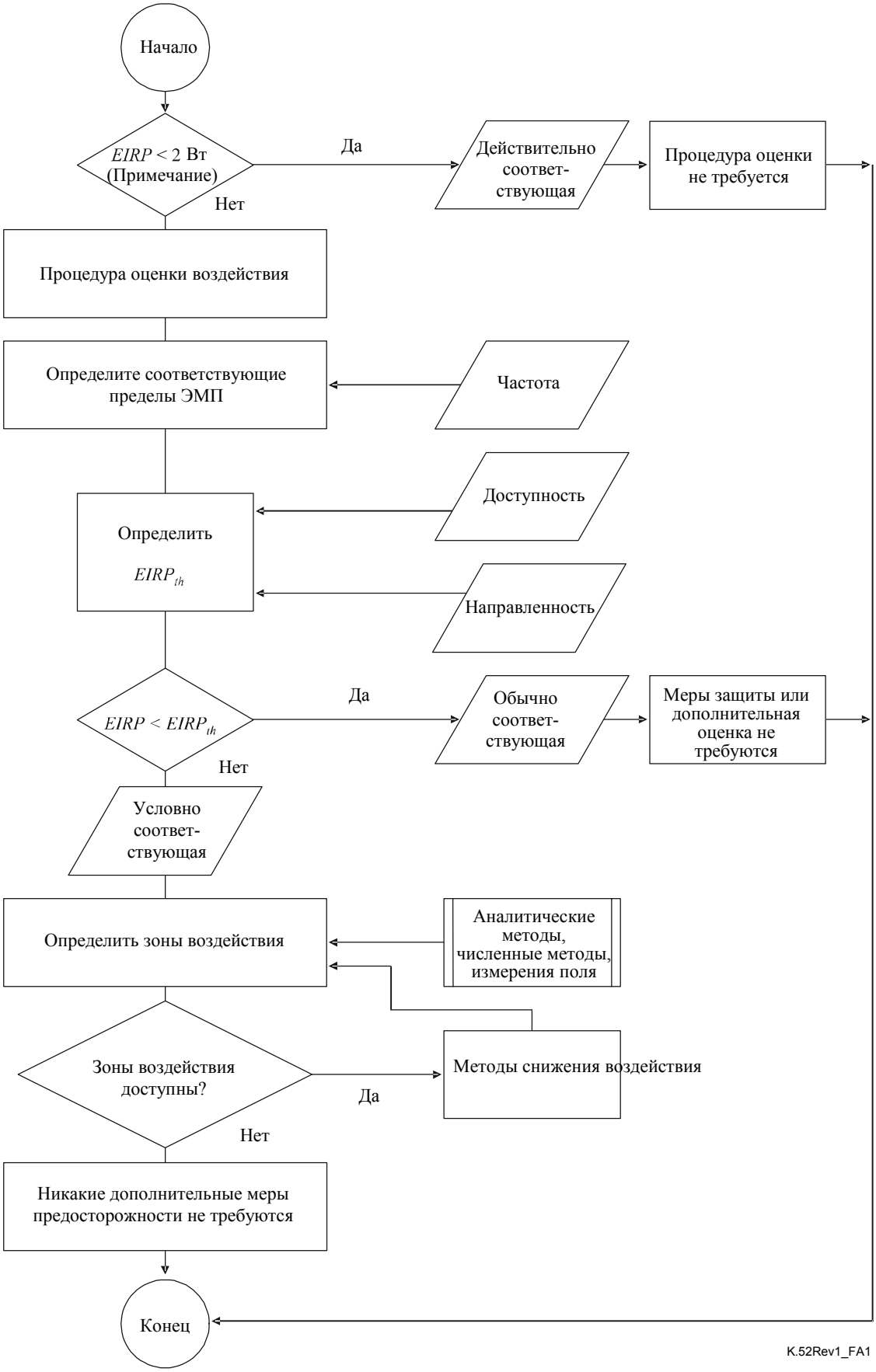
Если ЭМП превышает предельные уровни профессионального воздействия, то доступ персонала и населения должен быть ограничен. Если обслуживающему персоналу необходимо войти в эту зону, то следует предпринять меры для контроля воздействия на него. Такие меры включают:

- временное снижение мощности излучателя;
- управление продолжительностью воздействия так, чтобы усредненное по времени воздействие находилось в безопасных пределах;
- экранирование или использование защитной одежды.

Приложение A

Прикладная блок-схема

В этом Приложении приведена блок-схема оценки воздействия одного источника ЭМП установки связи. Эта блок-схема предназначена только для оборудования инфраструктуры связи, такой как базовая станция или земная станция.



ПРИМЕЧАНИЕ. – См. Добавление IV.

Приложение B

Основные критерии определения класса установки

Приведенная ниже информация облегчает классификацию установки на основе пределов ICNIRP. Эти критерии основаны на консервативной оценке вероятного воздействия ЭМП в различных описанных ниже ситуациях.

B.1 Действительно соответствующие источники

Излучатели с максимальным уровнем э.и.и.м. 2 Вт или менее классифицируются как действительно соответствующие источники. Какие-либо дальнейшие действия не считаются необходимыми.

Если общая излучаемая мощность составляет 100 мВт или менее и антенной (антеннами) являются антенны СВЧ-диапазона или миллиметрового диапазона с малым коэффициентом усиления и малой апертурой, то излучатель может считаться действительно соответствующим источником. Какие-либо дальнейшие действия не считаются необходимыми.

Кроме того, если конструкция излучателя устройства исключает доступ к любой зоне, в которой могут быть превышены пределы воздействия, то это устройство классифицируется как действительно соответствующее устройство.

B.2 Обычно соответствующие установки

Предложенные критерии для определения того, является ли установка обычно соответствующей, включают три характеристики установки: доступность и направленность антенны, а также частоту излучаемого поля. Эти характеристики описаны в пп. B.2.1, B.2.2 и B.2.3.

Значения $EIRP_{th}$, которые будут сравниваться с *EIRP* (э.и.и.м.) установки, могут быть определены посредством учета упомянутых выше характеристик. Возможный способ определения уровней $EIRP_{th}$ описан в Добавлении III.

B.2.1 Категории доступности

В этом параграфе определяются категории доступности. Эти категории, которые зависят от связанных с установкой обстоятельств, оценивают вероятность того, что человек может получить доступ к зоне превышения излучателя. См. таблицу B.1.

Таблица B.1/K.52 – Категории доступности

Категория доступности	Соответствующие обстоятельства установки	Ссылка на рисунок
1	Антенна установлена на недоступной опоре. Центр излучения находится на высоте *h* над уровнем земли. Существует ограничение $h > 3$ м. Антенна установлена на доступном для населения сооружении (например, на плоской крыше). Центр излучения находится на высоте *h* над этим сооружением.	Рисунок B.1
2	Антенна установлена на уровне земли. Центр излучения находится на высоте *h* над уровнем земли. Имеется расположенное рядом здание или сооружение, доступное для населения и с приблизительной высотой *h*, которое удалено на расстояние *d* от антенны вдоль направления распространения. Существует ограничение $h > 3$ м.	Рисунок B.2
3	Антенна установлена на уровне земли. Центр излучения находится на высоте *h* ($h > 3$ м) над уровнем земли. Имеется расположенное рядом здание или сооружение, доступное для населения и с приблизительной высотой *h′*, которое удалено на расстояние *d* от антенны вдоль направления распространения.	Рисунок B.3
4	Антенна установлена на сооружении на высоте *h* ($h > 3$ м). Существует область исключения, связанная с антенной. Определены две конфигурации для области исключения: – Круговая область с радиусом *a* вокруг антенны; или – Прямоугольная область размера $a \times b$ перед антенной.	Рисунок B.4 Рисунок B.5

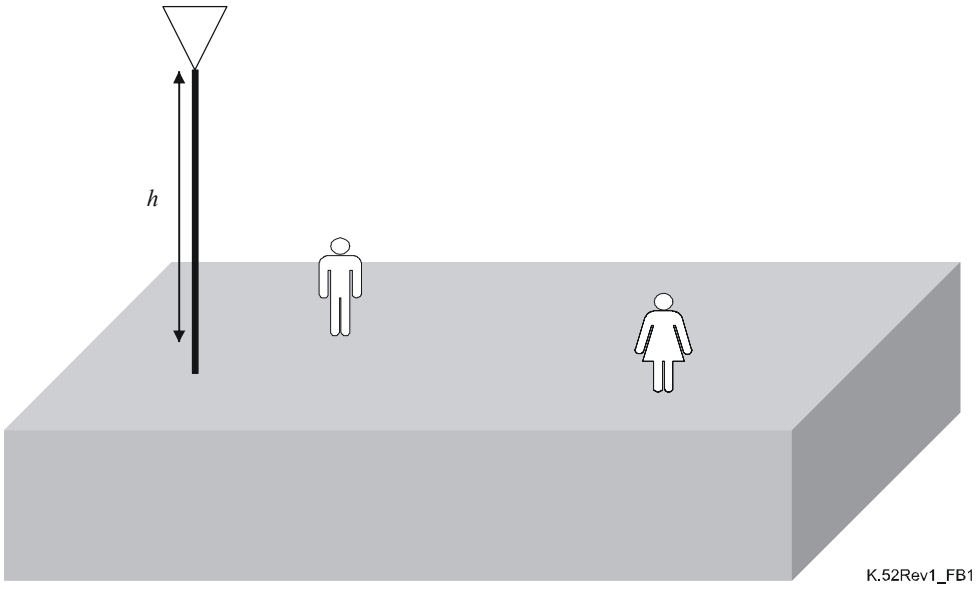


Рисунок B.1/K.52 – Иллюстрация категории доступности 1

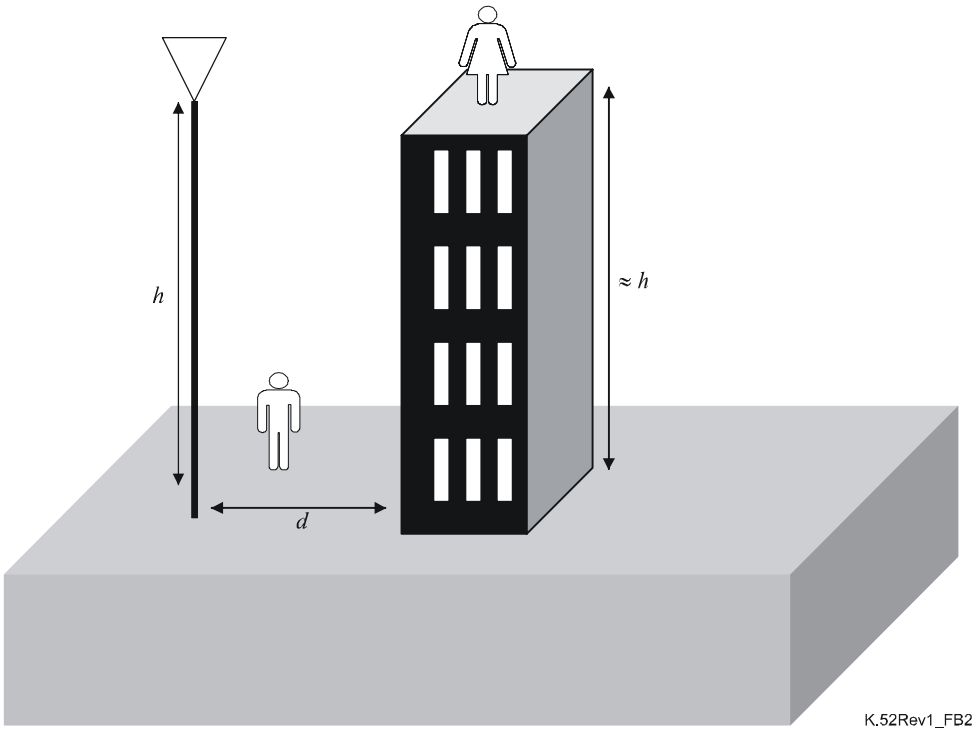


Рисунок B.2/K.52 – Иллюстрация категории доступности 2

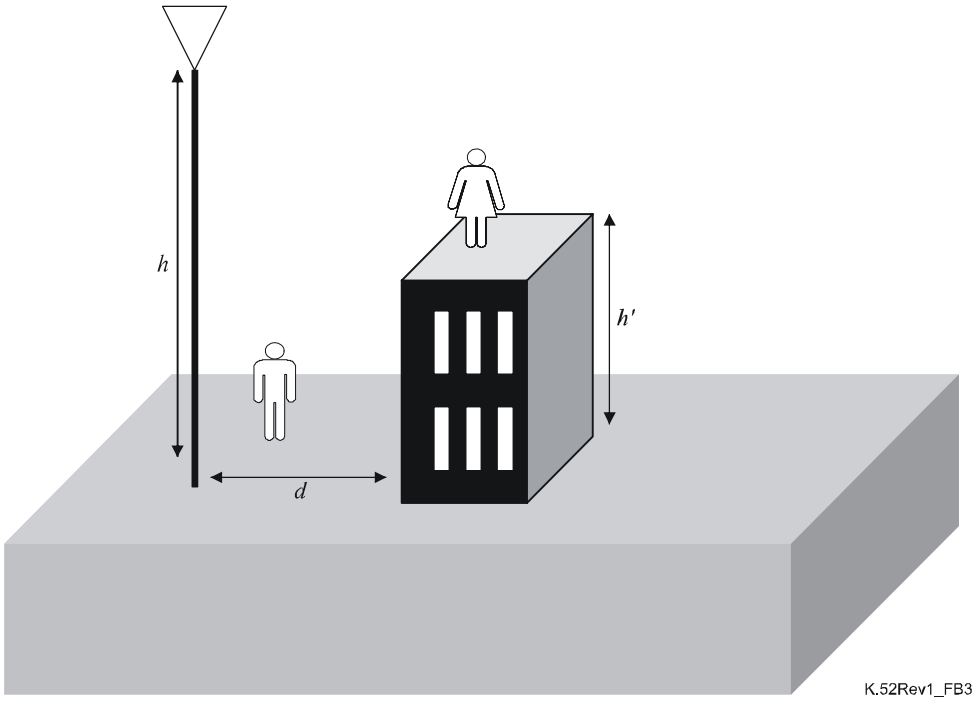


Рисунок B.3/K.52 – Иллюстрация категории доступности 3

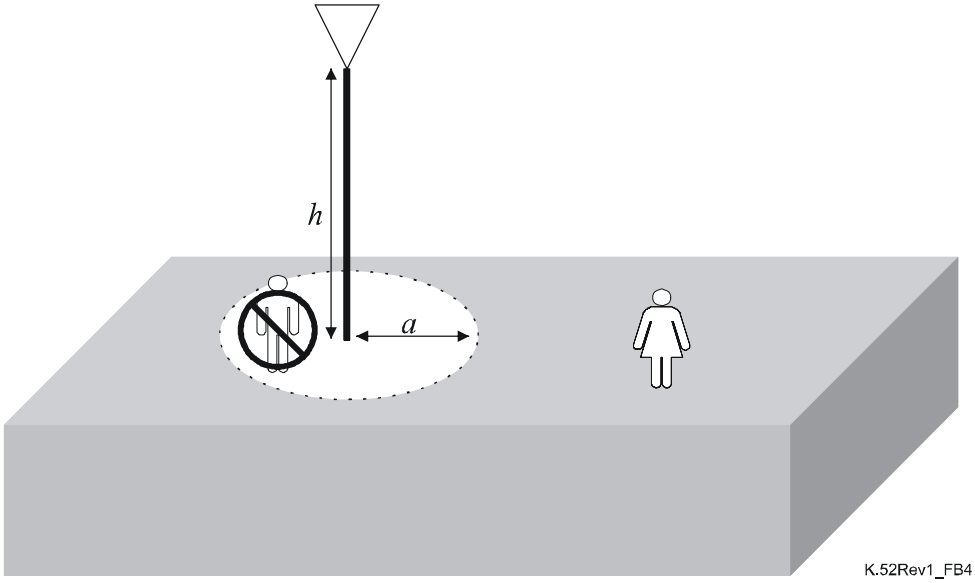


Рисунок B.4/K.52 – Иллюстрация категории доступности 4, круговая зона исключения

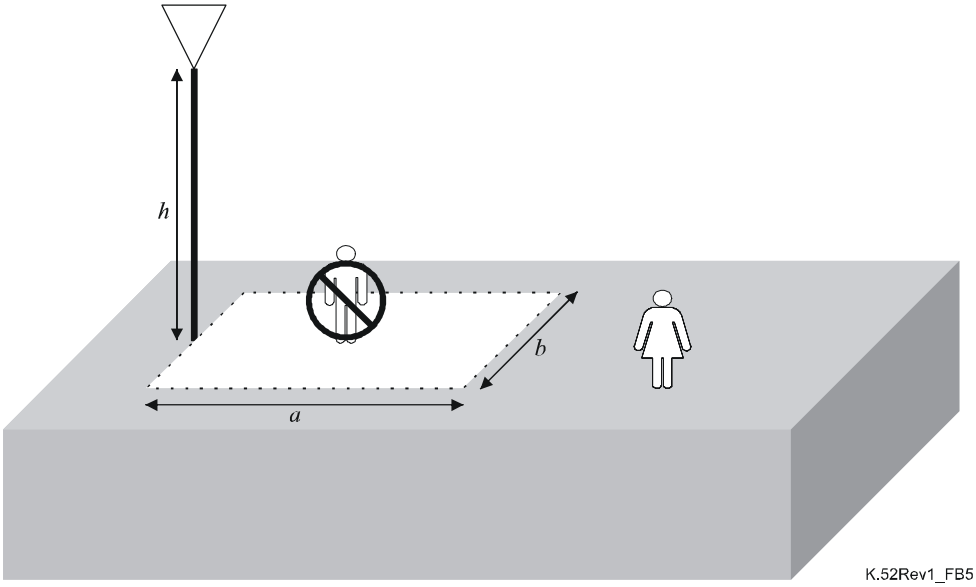


Рисунок B.5/K.52 – Иллюстрация категории доступности 4, прямоугольная зона исключения

B.2.2 Диапазоны частот

Несущая частота определяет предел воздействия для излучаемой плотности мощности, $S_{lim}(f)$, указанной в стандартах по воздействию электромагнитных полей.

B.2.3 Категории направленности антенны

Направленность антенны важна, потому что она определяет вид потенциального воздействия. Высокий коэффициент направленного действия означает, что большая часть излучаемой мощности сконцентрирована в узком луче, который может обеспечить хороший контроль над местоположением зон воздействия.

Диаграмма направленности антенны является основным определяющим и часто изменяющимся фактором при определении напряженности поля. В таблице B.2 приведено описание, которое облегчает классификацию антенн по обобщенным категориям. Самый важный параметр для определения воздействия поднятых антенн – это диаграмма направленности антенны в вертикальной плоскости (по углу места) антенны. Диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости (азимутальная диаграмма) не играет роли, потому что оценка воздействия предполагает воздействие вдоль направления максимального излучения в горизонтальной плоскости.

Следует отметить, однако, что диаграммы направленности антенны в вертикальной и горизонтальной плоскостях определяют коэффициент усиления антенны и что диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости определяет область исключения для категории доступности 4.

Таблица B.2/K.52 – Категории направленности антенн

Категория направлен-- ности	**Описание антенны**	**Соответствующие параметры**
1	Полуволновый симметричный вибратор	Нет См. рисунок B.6
2	Антенна с широкой областью покрытия (всенаправленная или секционная), как например антенны, используемые для беспроводной связи или радиовещания	• Ширина лепестка по половинной мощности в вертикальной плоскости: θ_{bw} • Максимальная амплитуда бокового лепестка по отношению к максимуму: A_{sl} • Угол наклона лепестка: α См. рисунок B.7
3	Антенна с высоким коэффициентом усиления, создающая узкий луч (кругообразно симметричный луч), как например антенны, используемые для связи точка–точка или на земных станциях	• Ширина лепестка по половинной мощности в вертикальной плоскости: θ_{bw} • Максимальная амплитуда бокового лепестка по отношению к максимуму: A_{sl} • Угол наклона лепестка: α См. рисунок B.7

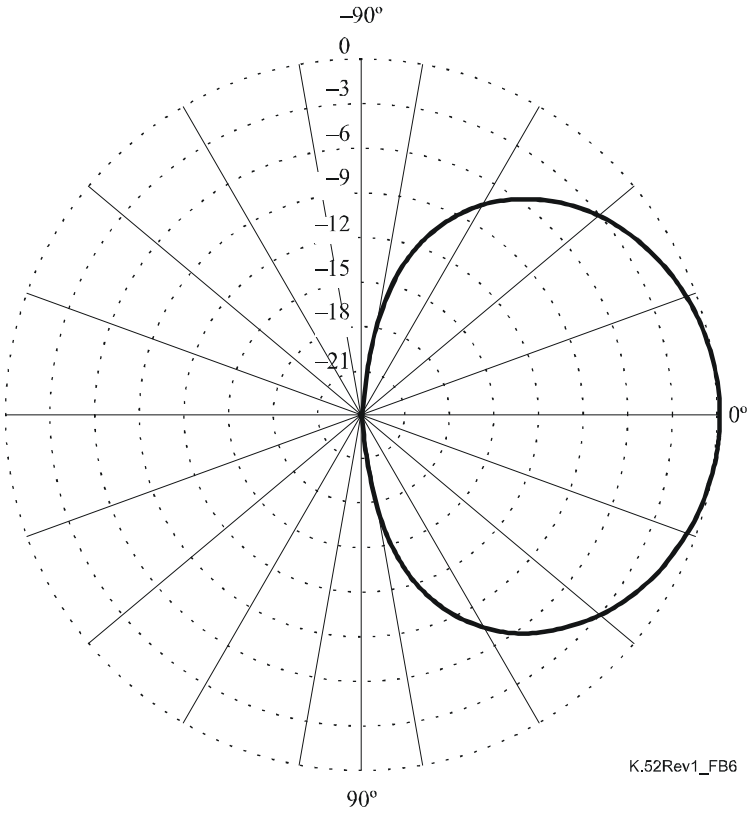


Рисунок B.6/K.52 – Вертикальная диаграмма направленности полуволнового симметричного вибратора при вертикальной поляризации

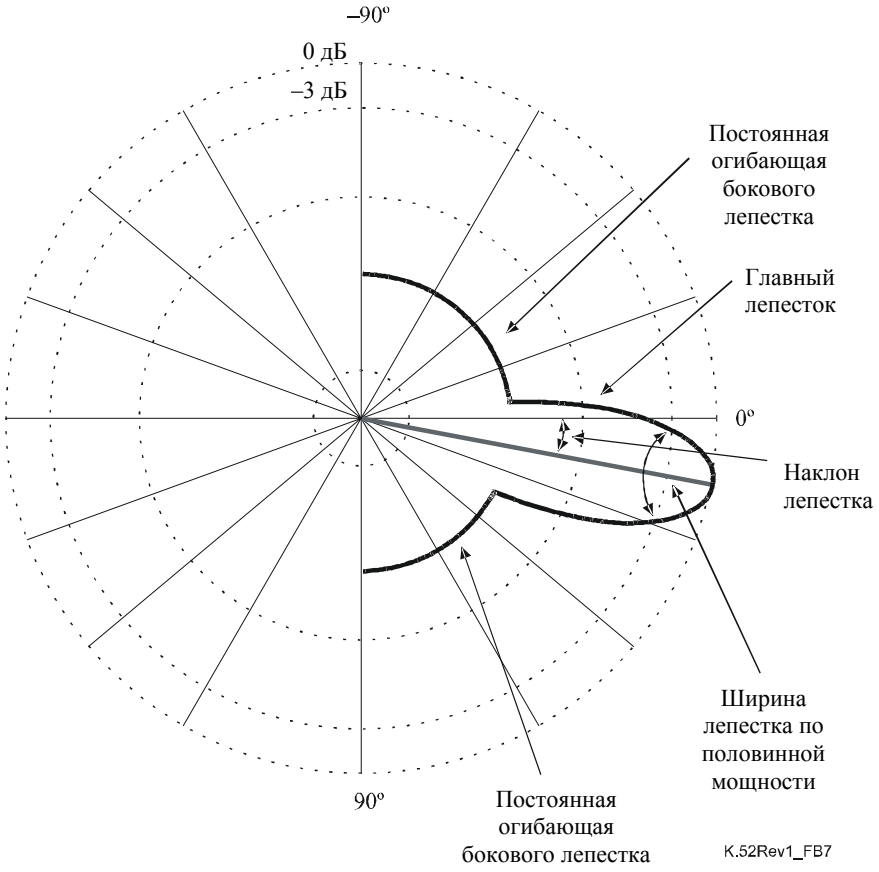


Рисунок B.7/K.52 – Иллюстрация терминов, относящихся к диаграмме направленности антенны

B.2.4 Область исключения

В этом параграфе описываются области исключения для категории доступности 4. Область исключения зависит от горизонтальной диаграммы направленности антенны. Соответствующим параметром является горизонтальное покрытие антенны. В таблице B.3 показаны области исключения для нескольких типичных значений горизонтального покрытия всенаправленных антенн, секционных антенн или антенн с узколучевой диаграммой направленности.

Таблица B.3/K.52 – Область исключения как функция горизонтального покрытия

Горизонтальное покрытие	Область исключения
Всенаправленное	Круговая область (рисунок B.4)
120º	Прямоугольная область (рисунок B.5) $b = 0{,}866a$
90º	Прямоугольная область (рисунок B.5) $b = 0{,}707a$
60º	Прямоугольная область (рисунок B.5) $b = 0{,}5a$
30º	Прямоугольная область (рисунок B.5) $b = 0{,}259a$
Менее 5º	Прямоугольная область (рисунок B.5) $b = 0{,}09a$

Добавление I

Предельные уровни ICNIRP

Данное Добавление содержит краткую сводку по пределам из руководства по ограничению воздействия изменяющихся во времени электрического, магнитного и электромагнитного полей (с частотами до 300 ГГц) [1], опубликованную Международной комиссией по защите от неионизирующих излучений (ICNIRP). Данное Добавление представляет базовые предельные уровни (по SAR и плотности тока) и контрольные уровни для этих полей.

I.1 Базовые предельные уровни

Базовые предельные уровни приведены в таблице I.1.

Таблица I.1/K.52 – Базовые предельные уровни ICNIRP

Тип воздействия	Диапазон частот	Плотность тока для головы и туловища (мА/м^2) (среднеквадратичная)	SAR, усредненная по всему телу (Вт/кг)	Локализованная SAR (голова и туловище) (Вт/кг)	Локальная SAR (конечности) (Вт/кг)
Профессиональный	До 1 Гц	40			
	1–4 Гц	40/f			
	4 Гц–1 кГц	10			
	1–100 кГц	f/100			
	100 кГц–10 МГц	f/100	0,4	10	20
	10 МГц–10 ГГц		0,4	10	20
Население	До 1 Гц	8			
	1–4 Гц	8/f			
	4 Гц–1 кГц	2			
	1–100 кГц	f/500			
	100 кГц–10 МГц	f/500	0,08	2	4
	10 МГц–10 ГГц		0,08	2	4

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – f – частота в герцах.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Из-за электрической неоднородности тела значения плотности токов следует усреднять по поперечному сечению площадью 1 см^2, ориентированному перпендикулярно направлению тока.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Все значения SAR должны быть усреднены по любому 6-минутному периоду.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Масса для усреднения локализованной SAR составляет любые 10 г прилегающей ткани; полученная таким образом максимальная SAR должна быть значением, используемым для оценки воздействия.

I.2 Контрольные уровни

Контрольные уровни приведены в таблице I.2.

Таблица I.2/K.52 – Контрольные уровни ICNIRP (невозмущенные среднеквадратичные значения)

Тип воздействия	Диапазон частот	Напряженность электрического поля (В/м)	Напряженность магнитного поля (А/м)	Эквивалентная плотность мощности плоской волны, S_{eq} (Вт/м^2)
Профессиональное воздействие	До 1 Гц	–	2×10^5	–
	1–8 Гц	20 000	$2 \times 10^5/f^2$	–
	8–25 Гц	20 000	$2 \times 10^4/f$	–
	0,025–0,82 кГц	$500/f$	20/f	–
	0,82–65 кГц	610	24,4	–
	0,065–1 МГц	610	$1,6/f$	–
	1–10 МГц	$610/f$	$1,6/f$	–
	10–400 МГц	61	0,16	10
	400–2000 МГц	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	f/40
	2–300 ГГц	137	0,36	50
Население	До 1 Гц	–	2×10^4	–
	1–8 Гц	10 000	$2 \times 10^4/f^2$	–
	8–25 Гц	10 000	$5\,000/f$	–
	0,025–0,8 кГц	$250/f$	4/f	–
	0,8–3 кГц	$250/f$	5	–
	3–150 кГц	87	5	–
	0,15–1 МГц	87	$0,73/f$	–
	1–10 МГц	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	–
	10–400 МГц	28	0,073	2
	400–2000 МГц	$1,375f^{1/2}$	$0,0037f^{1/2}$	f/200
	2–300 ГГц	61	0,16	10

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Частота f, указанная в столбце "Диапазон частот".

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Для частот от 100 кГц до 10 ГГц время усреднения составляет 6 минут.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Для частот до 100 кГц пиковые значения можно получить, умножая среднеквадратичное значение на $\sqrt{2}(\approx 1,414)$. Для импульсов с продолжительностью t_p эквивалентную частоту рассчитывают по формуле $f = 1/1/(2t_p)$.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Для частот от 100 кГц до 10 МГц пиковые значения напряженности полей получают интерполяцией 1,5-кратного пикового значения на частоте 100 МГц до 32-кратного пикового значения на частоте 10 МГц. Для частот свыше 10 МГц предполагается, что плотность мощности плоской волны, эквивалентной усредненному по ширине импульса пику, не превышает в 1000 раз предел S_{eq}, или что напряженность поля не превышает уровни напряженности поля воздействия, приведенные в данной таблице.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Для частот, превышающих 10 ГГц, время усреднения составляет $68/f^{1,05}$ минут (где частота f измеряется в ГГц).

Контрольные уровни полей приведены на рисунках I.1 и I.2.

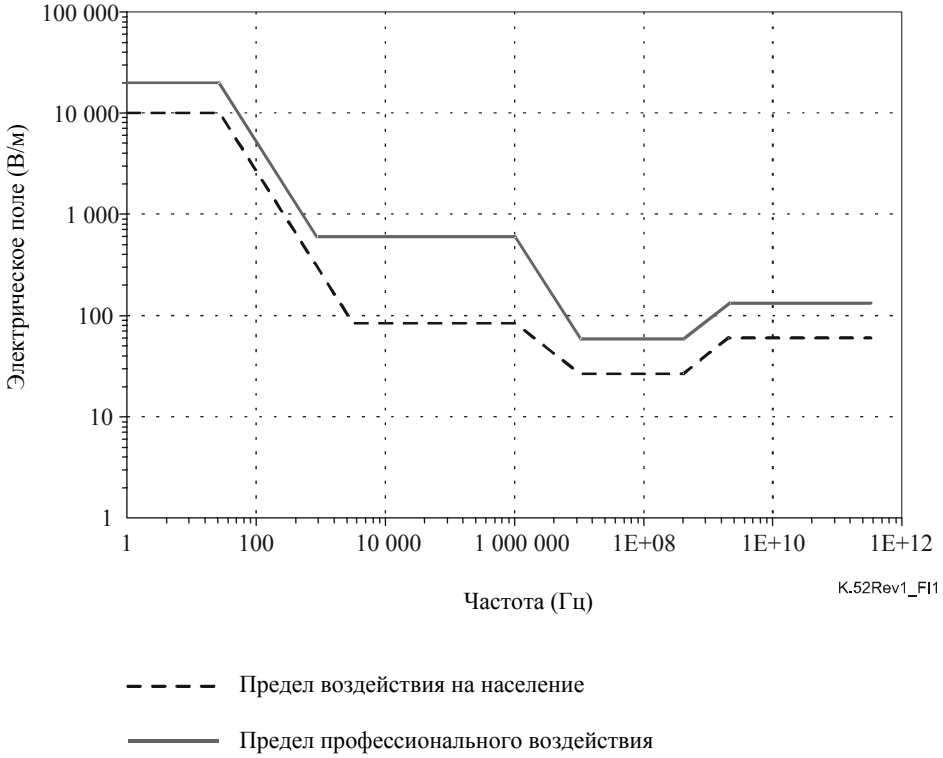


Рисунок I.1/K.52 – Контрольные уровни ICNIRP для напряженности электрического поля

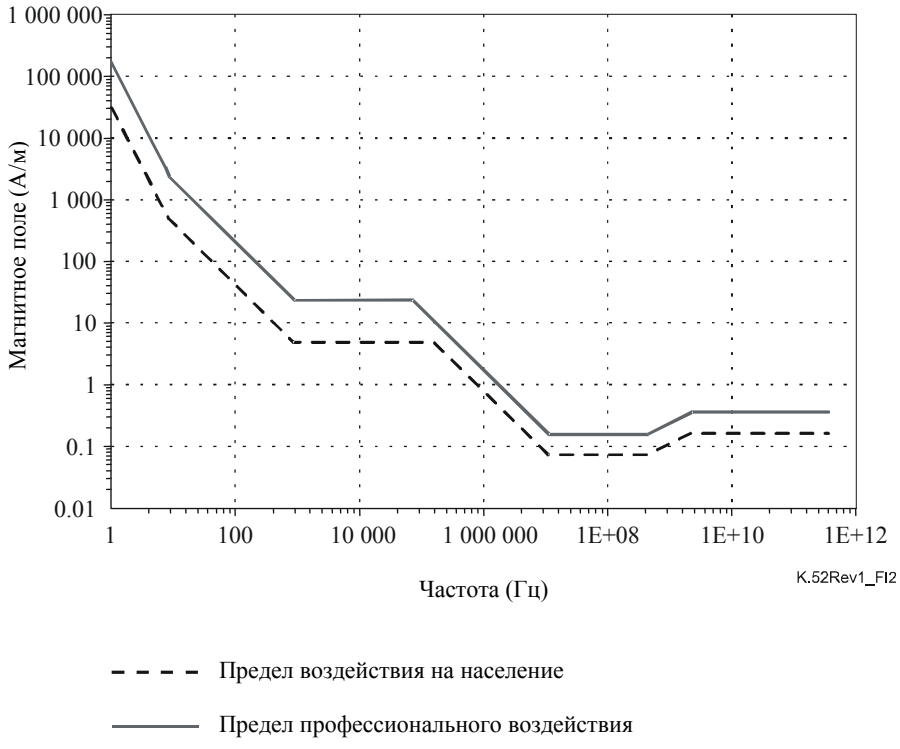


Рисунок I.2/K.52 – Контрольные уровни ICNIRP для напряженности магнитного поля

I.3 Одновременное воздействие нескольких источников

При одновременном воздействии полей, имеющих различные частоты, соответствие пределам воздействия оценивают, используя приведенные ниже уравнения. Должны выполняться все условия для соответствующих частотных диапазонов.

$$\sum_{i=1\ \text{кГц}}^{1\ \text{МГц}} \frac{E_i}{E_{l,i}} + \sum_{i>1\ \text{МГц}}^{10\ \text{МГц}} \frac{E_i}{a} \le 1$$

$$\sum_{j=1\ \text{кГц}}^{1\ \text{МГц}} \frac{H_j}{H_{l,j}} + \sum_{j>1\ \text{МГц}}^{10\ \text{МГц}} \frac{H_j}{b} \le 1,$$

где:

E_i напряженность электрического поля на i-ой частоте;

$E_{l,i}$ контрольный предел на i-ой частоте;

H_j напряженность магнитного поля на j-ой частоте;

$H_{l,j}$ контрольный предел на j-ой частоте;

a = 610 В/м для профессионального воздействия и 87 В/м при воздействии на население;

b = 24,4 А/м для профессионального воздействия и 5 А/м при воздействии на население.

$$\sum_{i=100\ \text{кГц}}^{1\ \text{МГц}} \left(\frac{E_i}{c}\right)^2 + \sum_{i>1\ \text{МГц}}^{300\ \text{ГГц}} \left(\frac{E_i}{E_{l,i}}\right)^2 \le 1$$

$$\sum_{j=100\ \text{кГц}}^{1\ \text{МГц}} \left(\frac{H_j}{d}\right)^2 + \sum_{j>1\ \text{МГц}}^{300\ \text{ГГц}} \left(\frac{H_j}{H_{l,j}}\right)^2 \le 1,$$

где:

E_i напряженность электрического поля на i-ой частоте;

$E_{l,i}$ контрольный предел на i-ой частоте;

H_j напряженность магнитного поля на j-ой частоте;

$H_{l,j}$ контрольный предел на j-ой частоте;

c = $610/f$ В/м (f в МГц) для профессионального воздействия и $87/f^{1/2}$ В/м при воздействии на население;

d = $1{,}6/f$ А/м (f в МГц) для профессионального воздействия и $0{,}73/f$ при воздействии на население.

Добавление II

Пример простой оценки воздействия ЭМП

В настоящем Добавлении представлен пример использования простого метода прогнозирования для оценки воздействия ЭМП.

II.1 Воздействие на уровне земли

Геометрия для расчета воздействия на уровне земли, обусловленного поднятой антенной, показана на рисунке II.1.

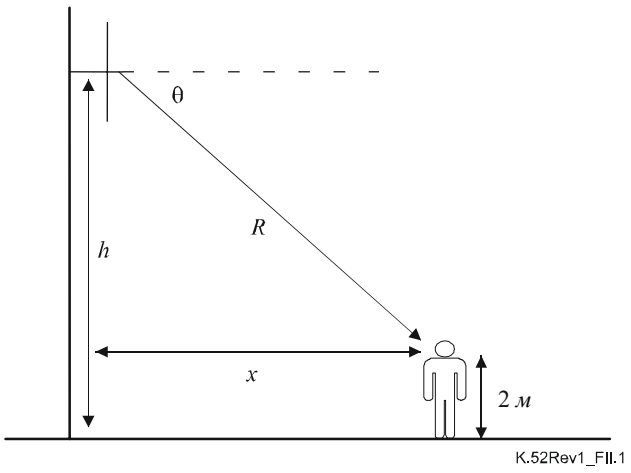


Рисунок II.1/K.52 – Пример конфигурации для расчета воздействия на уровне земли

Антенна установлена так, чтобы центр излучения находился на высоте h над землей. Цель расчета заключается в оценке плотности мощности в точке, расположенной на высоте 2 м над землей (приблизительно на уровне головы) на расстоянии x от мачты. В этом примере главный луч параллелен земле, а коэффициент усиления антенны обладает осевой симметрией (всенаправленная антенна).

Для упрощения, положим $h' = h - 2$ [м.]. Используя тригонометрию, получаем,

$$R^2 = h'^2 + x^2$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h'}{x}\right)$$

Если учесть отражения от земли, плотность мощности принимает значение:

$$S = \frac{2{,}56}{4\pi} F(\theta) \frac{EIRP}{x^2 + h'^2}$$

ПРИМЕЧАНИЕ. – Коэффициент 2,56 можно заменить на 4 (то есть, полагая коэффициент отражения равным 1), если необходим более жесткий подход.

Например, если антенна является полуволновым симметричным вибратором, то относительный числовой коэффициент усиления имеет следующий вид:

$$F(\theta, \phi) = \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\sin\theta\right)}{\cos\theta}\right]^2$$

Далее, для источника с *EIRP* (э.и.и.м.) 1000 Вт мощность воздействия в виде зависимости от *x* показана на рисунке II.2 для трех различных высот.

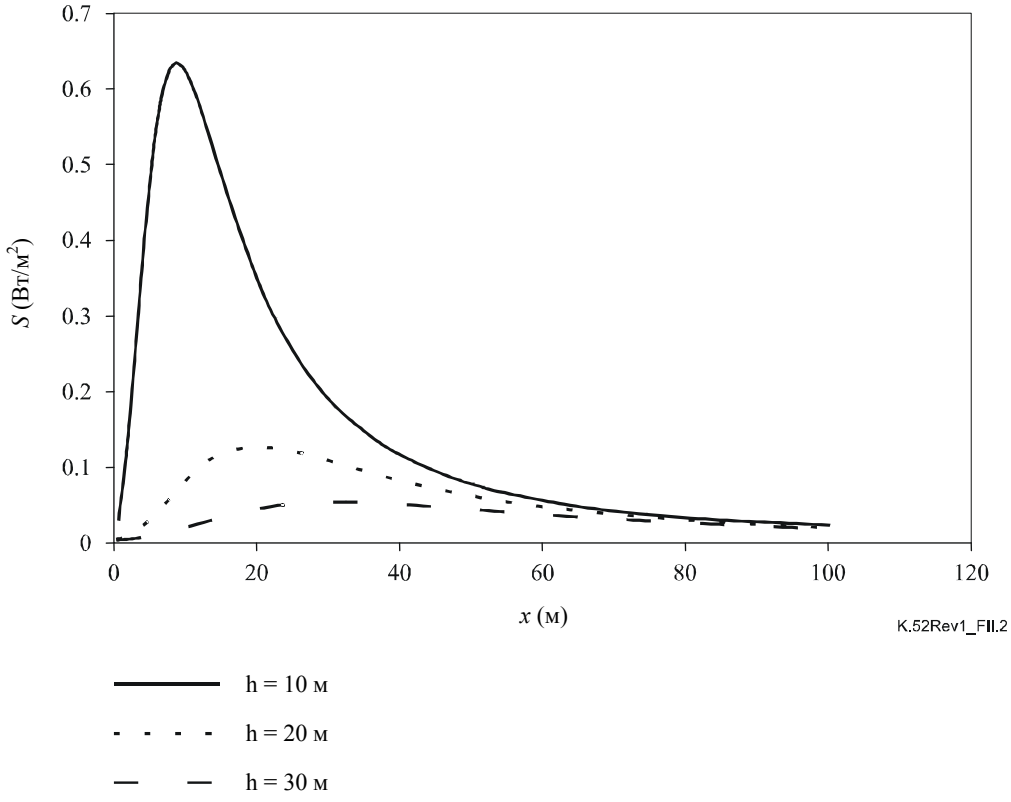


Рисунок II.2/K.52 – Зависимость плотности мощности на уровне земли от расстояния до мачты, рассчитанная для примера на рисунке II.1

II.2 Воздействие на соседнее здание

Геометрия для расчета воздействия на здание, расположенное рядом с антенной мачтой, показана на рисунке II.3.

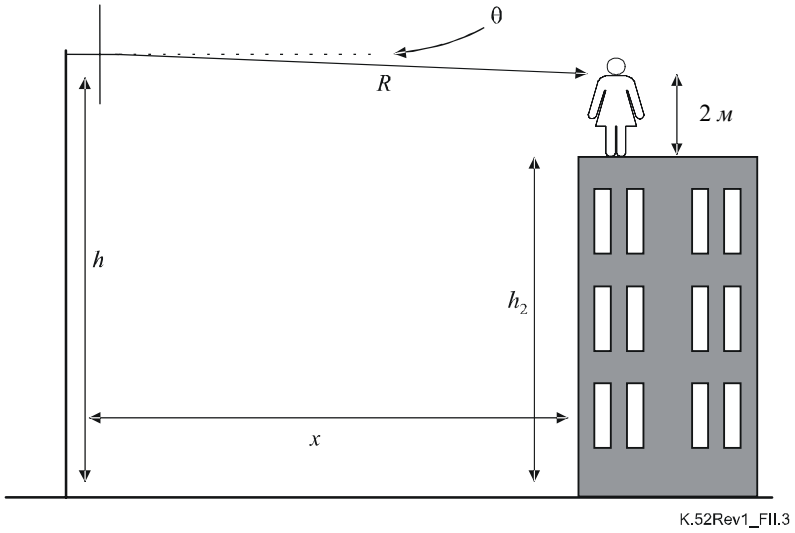


Рисунок II.3/K.52 – Пример конфигурации для расчета воздействия на соседнее здание

Антенна расположена так, что центр излучения находится на высоте h над землей. Цель вычисления заключается в оценке плотности мощности в точке, находящейся на высоте 2 м над уровнем крыши расположенного рядом здания (приблизительно на уровне головы). Здание с высотой h_2 находится на расстоянии x от мачты. Самое большое воздействие ожидается на том краю крыши, который находится ближе всего к антенне. Предполагается, что главный луч распространяется параллельно земле и что коэффициент усиления антенны обладает осевой симметрией (всенаправленная антенна).

Снова для упрощения положим $h' = h - h_2 - 2$. Используя тригонометрию, получаем:

$$R^2 = h'^2 + x^2$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h'}{x}\right)$$

В данном случае отражениями от земли можно пренебречь, поскольку отраженная волна вероятно будет ослабляться зданием, так что плотность мощности становится равной:

$$S = \frac{F(\theta)}{4\pi}\frac{EIRP}{x^2 + h'^2}$$

Например, если антенна является полуволновым симметричным вибратором, то относительный числовой коэффициент усиления имеет следующий вид:

$$F(\theta,\phi) = \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\sin\theta\right)}{\cos\theta}\right]^2$$

Далее, для источника с *EIRP* (э.и.и.м.) 1000 Вт зависимость мощности воздействия от x приведена на рисунке II.4 для трех различных относительных высот Dh = ($h - h_2$).

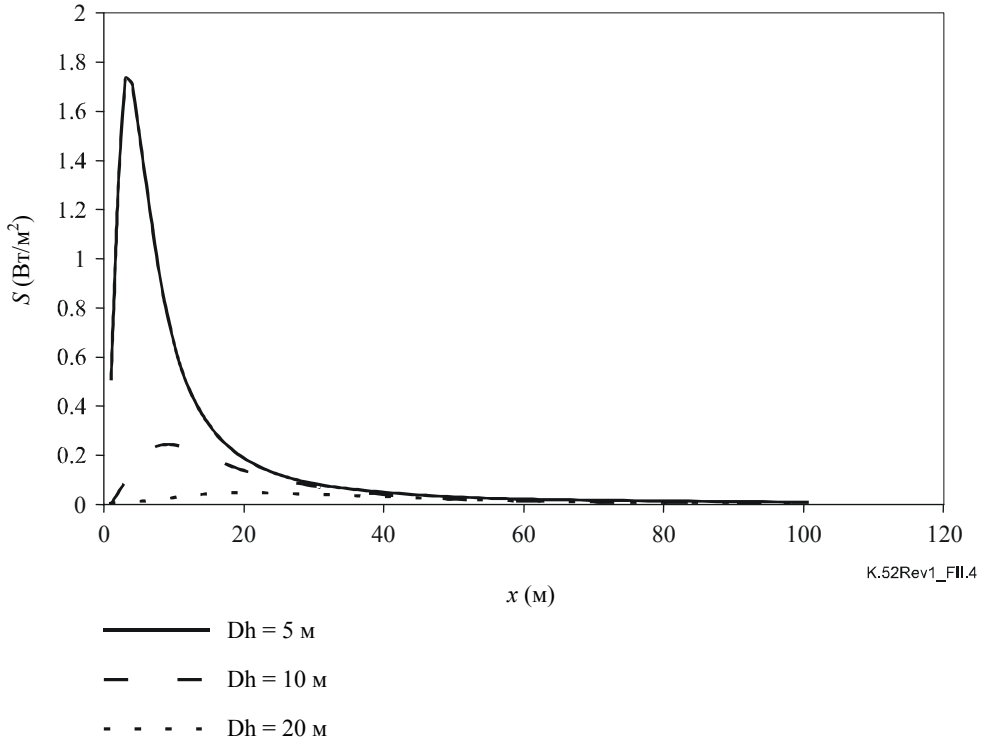


Рисунок II.4/K.52 – Зависимость плотности мощности на уровне земли от расстояния от мачты, рассчитанная для примера, показанного на рисунке II.2

Добавление III

Пример расчета $EIRP_{th}$

III.1 Значения $EIRP_{th}$

В таблицах III.1–III.3 приведены выражения для значений эквивалентной изотропно излучаемой мощности ($EIRP_{th}$), основанные на предельных уровнях ICNIRP для различных частотных диапазонов, условий доступности и категорий направленности антенны.

Необходимо отметить, что излучаемую плотность мощности можно использовать только в условиях дальнего поля, когда ей соответствуют электрические и магнитные поля. Она представляет собой обоснованный предельный уровень для применения предложенной процедуры оценки для обычно соответствующих установок. Если эта процедура неприменима (например, в случае низких частот или при воздействии в условиях ближнего поля), то установка будет считаться условно соответствующей.

Руководящие принципы ICNIRP определяют три частотных диапазона, которым соответствуют различные значения предела плотности мощности эквивалентной плоской волны. Для частот, превышающих 100 МГц, эти пределы составляют:

f (МГц)	$S_{lim}(f)$ (Вт/м^2)	
	Население	**Профессионалы**
100–400	2	10
400–2 000	$f/200$	$f/40$
$2 \cdot 10^3$–$300 \cdot 10^3$	10	50

Значения $EIRP_{th}$ приводятся как зависимости от высоты антенны и других соответствующих параметров (доступность, направленность и частота), которые определены в Приложении B.

В Добавлении IV приведено объяснение значений $EIRP_{th}$.

ПРИМЕЧАНИЕ. – В приведенных ниже таблицах a, d, h и h' измеряются в метрах.

Таблица III.1/K.52 – Условия обычного соответствия установок предельным уровням ICNIRP для частотного диапазона 100–400 МГц

Категория направленности	**Категория доступности**	$EIRP_{th}$ (Вт)	
		Население	**Профессионалы**
1	1	$8\pi(h-2)^2$	$40\pi(h-2)^2$
	2	Наименьшее из: $8\pi(h-2)^2$ или $2\pi d^2$	Наименьшее из: $40\pi(h-2)^2$ или $10\pi d^2$
	3	Наименьшее из: $8\pi(h-2)^2$ или $2\pi\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$	Наименьшее из: $40\pi(h-2)^2$ или $10\pi\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$

Таблица III.1/K.52 – Условия обычного соответствия установок предельным уровням ICNIRP для частотного диапазона 100–400 МГц

Категория направленности	Категория доступности	$EIRP_{th}$ (Вт)	
		Население	Профессионалы
1	4	Наименьшее из: $8\pi(h-2)^2$ {If $a < (h-2)$} или $2\pi\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$	Наименьшее из: $40\pi(h-2)^2$ {If $a < (h-2)$} или $10\pi\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$
2	1	Наименьшее из: $\frac{2\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ или $2\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$	Наименьшее из: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ или $10\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$
	2 (определяется: $h' > h - d\ \tan(\alpha+1{,}129\theta_{bw})$)	Наименьшее из: $\frac{2\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ или $2\pi d^2$	Наименьшее из: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ или $10\pi d^2$
	3 (определяется: $h' < h - d\ \tan(\alpha+1{,}129\theta_{bw})$)	Наименьшее из: $\frac{2\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ или $\frac{2\pi}{A_{sl}}\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$	Наименьшее из: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ или $\frac{10\pi}{A_{sl}}\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$
	4	Наименьшее из: $\frac{2\pi}{A_{sl}}\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$ или $2\pi\left[\frac{\mathrm{h}-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$	Наименьшее из: $\frac{10\pi}{A_{sl}}\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$ или $10\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$
3	1	Наименьшее из: $\frac{2\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ или $2\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$	Наименьшее из: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ или $10\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$

Таблица III.1/K.52 – Условия обычного соответствия установок предельным уровням ICNIRP для частотного диапазона 100–400 МГц

Категория направленности	**Категория доступности**	***EIRP$_{th}$* (Вт)**	
		Население	**Профессионалы**
3	2	Нет данных (Обычно требуется линия прямой видимости)	Нет данных (Обычно требуется линия прямой видимости)
	3 (определяется: $h' < h - d\ \tan(\alpha + 1{,}129\theta_{bw})$)	Наименьшее из: $\frac{2\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ или $\frac{\pi}{2A_{sl}}\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$	Наименьшее из: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ или $\frac{2.5\pi}{A_{sl}}\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$
	4	Наименьшее из: $\frac{2\pi}{A_{sl}}\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$ или $2\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$	Наименьшее из: $\frac{10\pi}{A_{sl}}\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$ или $10\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$

Таблица III.2/K.52 – Условия обычного соответствия установок предельным уровням ICNIRP для диапазона частот 400–2000 МГц

Категория направленности	**Категория доступности**	***EIRP$_{th}$* (Вт)**	
		Население	**Профессионалы**
1	1	$\frac{f\pi}{50}(h-2)^2$	$\frac{f\pi}{10}(h-2)^2$
	2	Наименьшее из: $\frac{f\pi}{50}(h-2)^2$ или $\frac{f\pi}{200}d^2$	Наименьшее из: $\frac{f\pi}{10}(h-2)^2$ или $\frac{f\pi}{40}d^2$
	3	Наименьшее из: $\frac{f\pi}{50}(h-2)^2$ или $\frac{f\pi}{200}\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$	Наименьшее из: $\frac{f\pi}{10}(h-2)^2$ или $\frac{f\pi}{40}\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$

Таблица III.2/K.52 – Условия обычного соответствия установок предельным уровням ICNIRP для диапазона частот 400–2000 МГц

Категория направленности	Категория доступности	$EIRP_{th}$ (Вт)	
		Население	**Профессионалы**
1	4	Наименьшее из: $\frac{f\pi}{50}(h-2)^2$ {If $a < (h-2)$} или $\frac{f\pi}{200}\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$	Наименьшее из: $\frac{f\pi}{10}(h-2)^2$ {If $a < (h-2)$} или $\frac{f\pi}{40}\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$
2	1	Наименьшее из: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}(h-2)^2$ или $\frac{f\pi}{200}\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$	Наименьшее из: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}(h-2)^2$ или $\frac{f\pi}{40}\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$
	2 (определяется: $h' > h - d\ \tan(\alpha+1{,}129\theta_{bw})$)	Наименьшее из: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}(h-2)^2$ или $\frac{f\pi}{200}d^2$	Наименьшее из: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}(h-2)^2$ или $\frac{f\pi}{40}d^2$
	3 (определяется: $h' < h - d\ \tan(\alpha+1{,}129\theta_{bw})$)	Наименьшее из: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}(h-2)^2$ или $\frac{f\pi}{200A_{sl}}\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$	Наименьшее из: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}(h-2)^2$ или $\frac{f\pi}{40A_{sl}}\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$
	4	Наименьшее из: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$ или $\frac{f\pi}{200}\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$	Наименьшее из: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$ или $\frac{f\pi}{40}\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$
3	1	Наименьшее из: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}(h-2)^2$ или $\frac{f\pi}{200}\left[\frac{h}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$	Наименьшее из: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}(h-2)^2$ или $\frac{f\pi}{40}\left[\frac{h}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$

Таблица III.2/K.52 – Условия обычного соответствия установок предельным уровням ICNIRP для диапазона частот 400–2000 МГц

Категория направленности	Категория доступности	$EIRP_{th}$ (Вт)	
		Население	**Профессионалы**
3	2	Нет данных (Обычно требуется линия прямой видимости)	Нет данных (Обычно требуется линия прямой видимости)
	3 (определяется: $h' < h - d\ \tan(\alpha + 1{,}129\theta_{bw})$)	Наименьшее из: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}(h-2)^2$ или $\frac{f\pi}{50A_{sl}}\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$	Наименьшее из: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}(h-2)^2$ или $\frac{f\pi}{10A_{sl}}\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$
	4	Наименьшее из: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$ или $\frac{f\pi}{200}\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$	Наименьшее из: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$ или $\frac{f\pi}{40}\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$

Таблица III.3/K.52 – Условия обычного соответствия установок предельным уровням ICNIRP для диапазона частот 2000–300 000 МГц

Категория направленности	Категория доступности	$EIRP_{th}$ (Вт)	
		Население	**Профессионалы**
1	1	$40\pi(h-2)^2$	$200\pi(h-2)^2$
	2	Наименьшее из: $40\pi(h-2)^2$ или $10\pi d^2$	Наименьшее из: $200\pi(h-2)^2$ или $50\pi d^2$
	3	Наименьшее из: $40\pi(h-2)^2$ или $10\pi\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$	Наименьшее из: $200\pi(h-2)^2$ или $50\pi\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$

Таблица III.3/K.52 – Условия обычного соответствия установок предельным уровням ICNIRP для диапазона частот 2000–300 000 МГц

Категория направленности	**Категория доступности**	***EIRP*$_{th}$ (Вт)**	
		Население	**Профессионалы**
1	4	Наименьшее из: $40\pi(h-2)^2$ {If $a < (h-2)$} или $10\pi\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$	Наименьшее из: $200\pi(h-2)^2$ {If $a < (h-2)$} или $50\pi\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$
2	1	Наименьшее из: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ или $10\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$	Наименьшее из: $\frac{50\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ или $50\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$
	2 (определяется: $h' > h - d\ \tan(\alpha+1{,}129\theta_{bw})$)	Наименьшее из: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ или $10\pi d^2$	Наименьшее из: $\frac{50\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ или $50\pi d^2$
	3 (определяется: $h' < h - d\ \tan(\alpha+1{,}129\theta_{bw})$)	Наименьшее из: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ или $\frac{10\pi}{A_{sl}}\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$	Наименьшее из: $\frac{50\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ или $\frac{50\pi}{A_{sl}}\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$
	4	Наименьшее из: $\frac{10\pi}{A_{sl}}\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$ или $10\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$	Наименьшее из: $\frac{50\pi}{A_{sl}}\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$ или $50\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$
3	1	Наименьшее из: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ или $10\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$	Наименьшее из: $\frac{50\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ или $50\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$

Таблица III.3/K.52 – Условия обычного соответствия установок предельным уровням ICNIRP для диапазона частот 2000–300 000 МГц

Категория направленности	**Категория доступности**	***EIRP*$_{th}$ (Вт)**	
		Население	**Профессионалы**
3	2	Нет данных (Обычно требуется линия прямой видимости)	Нет данных (Обычно требуется линия прямой видимости)
	3 (определяется: $h' < h - d\ \tan(\alpha + 1{,}129\theta_{bw})$)	Наименьшее из: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ или $\frac{2.5\pi}{A_{sl}}\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$	Наименьшее из: $\frac{50\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ или $\frac{12.5\pi}{A_{sl}}\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$
	4	Наименьшее из: $\frac{10\pi}{A_{sl}}\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$ или $10\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$	Наименьшее из: $\frac{50\pi}{A_{sl}}\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$ или $50\pi\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha+1{,}129\theta_{bw})}\right]^2$
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Частота *f* измеряется в МГц. ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Все углы должны измеряться в радианах. ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Величина A_{sl} должна быть выражена в форме численного коэффициента. Однако обычно она измеряется в дБ относительно максимального значения. Формула пересчета имеет следующий вид: $A_{sl} = 10^{A_{sl}[dB]/10}$.			

Добавление IV

Обоснование значений $EIRP_{th}$ в таблицах в Добавлении III

В данном Добавлении дано обоснование значений $EIRP_{th}$, приведенных в Добавлении III. Это обоснование строится на вычислениях, в которых используются выражения для дальнего поля во всех случаях. Поэтому частотный диапазон, где действует это обоснование, ограничен частотами, превышающими 100 МГц.

IV.1 Действительно соответствующие источники

Критерий для действительно соответствующего источника – это *EIRP* (э.и.и.м.), равная 2 Вт или менее, если только не используются СВЧ-антенны или антенны миллиметрового диапазона с низким коэффициентом усиления и малой апертурой, для которых обеспечение действительного соответствия требует общей излучаемой мощности 100 мВт или менее. Это значение *EIRP* соответствует плотности мощности 0,16 Вт/м^2 на расстоянии 1 м, в то время как самый низкий предел плотности мощности ICNIRP для населения составляет 2 Вт/м^2.

IV.2 Обычно соответствующие источники

Критерии для обычно соответствующих установок выводятся путем рассмотрения воздействия на уровне земли, а также на соседние здания или сооружения. Основная процедура выполнения расчетов была описана в п. 9.1.2. Двумя определяющими факторами являются диаграмма направленности антенны и условия доступности. Для получения критериев классификации делаются следующие дополнительные консервативные предположения:

- Для воздействия на уровне земли принимается значение коэффициента отражения, равное 1.
- Предполагается, что все воздействие происходит в направлении максимума диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости.

В приведенных ниже подпунктах показаны результаты для различных категорий направленности антенны.

IV.2.1 Категория направленности 1

Зависимость коэффициента усиления антенны аппроксимируется относительным числовым коэффициентом усиления элементарного симметричного вибратора (диполя).

$$F(\theta,\phi) = \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\sin\,\theta\right)}{\cos\,\theta} \right]^2 \approx \cos^2\theta$$

Элементарный симметричный вибратор имеет самую широкую диаграмму направленности в вертикальной плоскости для всенаправленного источника. Поэтому он представляет наихудшее условие воздействия (облучения) на уровне земли, причем главная ось лепестка расположена параллельно уровню земли или выше его.

Используя этот коэффициент усиления, можно получить мощность воздействия аналитически как функцию x:

$$S(x) = \frac{EIRP}{4\pi}\left(\frac{x}{x^2 + {h_d}^2} + \frac{x}{x^2 + {h_s}^2} \right)^2,$$

где h_d – это разность высоты фазового центра антенны h и высоты точки наблюдения, а h_s – это сумма указанных высот. Высота точки наблюдения равна 2 м для воздействия на уровне земли и h' для воздействия на соседние сооружения. Вычисление максимального воздействия является сложным процессом, но консервативную оценку можно получить, полагая $h_s = h_d$. Эта аппроксимация должна быть достаточно точной вблизи поверхности, но дает существенное превышение в точках, расположенных значительно выше рассматриваемой поверхности. В этом приближении максимальное воздействие наблюдается при $x = h_d$ и оно равно:

$$S_{max}(h) = \frac{1}{4\pi}\frac{EIRP}{{h_d}^2}$$

Для данного предельного уровня значений эквивалентной плотности мощности плоской волны, S_{lim}, и данной высоты антенны можно вычислить максимальное значение *EIRP* (э.и.и.м.), которое должно обеспечить соответствие в следующем виде:

$$EIRP_{th} = 4\pi {h_d}^2 S_{lim}$$

IV.2.2 Категория направленности 2

В этом случае предполагаемая диаграмма направленности антенны состоит из двух компонентов – главного лепестка и огибающая боковых лепестков с постоянной амплитудой. Диаграмму направленности антенны можно выразить в следующем виде:

$$F(\theta) = \begin{cases} \left[\dfrac{\sin[c\,\sin(\theta-\alpha)]}{c\,\sin(\theta-\alpha)}\right]^2 & \text{главный лепесток} \\ A_{sl} & \text{огибающая боковых лепестков} \end{cases}$$

Параметр c определяет ширину лепестка по половинной мощности следующим образом:

$$c = \frac{1{,}392}{\sin(\theta_{bw}/2)}$$

Пересечение главного лепестка с областью бокового лепестка трудно определить аналитически, однако его можно аппроксимировать первым нулем функции главного лепестка. Первый нуль находится в следующей точке:

$$\theta_{n1,n2} = \alpha \pm \sin^{-1}\left[\frac{\pi}{1{,}392}\sin\left(\frac{\theta_{bw}}{2}\right)\right] \approx \alpha \pm 2{,}257\frac{\theta_{bw}}{2}$$

Вне главного лепестка воздействие рассчитывается, используя постоянную огибающую, так что максимальное воздействие производится непосредственно под антенной. Во многих случаях это является консервативным предположением, поскольку диаграмма направленности антенны может иметь нуль в этой точке. Однако без дополнительной информации о диаграмме направленности используется самое консервативное предположение. В некоторых случаях постоянная огибающая может модулироваться дипольным коэффициентом (cosθ), например, когда воздействие бокового лепестка наблюдается вдали от основания антенны.

Кроме того, для упрощения расчетов принята постоянная мощность в главном лепестке ($F(\theta)$ =1). Тогда условие того, что точка (x,y) находится внутри лепестка, имеет вид:

$$h - xtg\theta_{n1} \le y \le h - xtg\theta_{n2}$$

IV.2.3 Категория направленности 3

Основное отличие между расчетом воздействия для категории направленности 3 по сравнению с категорией направленности 2 относится к рассмотрению отраженного поля. Антенны с категорией направленности 3 используются для линий связи точка–точка, поэтому для воздействия в главном лепестке нет необходимости рассматривать отраженные волны.

БИБЛИОГРАФИЯ

[1] ICNIRP, *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic field (up to 300 GHz).*

[2] FCC, 96-326*, Guidelines for Evaluating the Environmental Effects of Radiofrequency Radiation.*

[3] ANSI/IEEE C95.1, *Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz.*

[4] The Council of The European Union, *Council Recommendation 1999/519/EC of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz).*

[5] The European Parliament and the Council of the European Union, *Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields)*.

[6] Health Canada Safety Code 6, *Limits of Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 3 kHz to 300 GHz*.

[7] ANSI/IEEE C95.3, *Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields – RF and Microwave.*

[8] IEEE 291, *Standard Methods for Measuring Electromagnetic Field Strengths of Sinusoidal Continuous Waves, 30 Hz to 30 GHz.*

[9] IEEE C63.2, *Standard Electromagnetic Noise and Field Strengths Instrumentation, 10 Hz to 40 GHz – Specifications.*

[10] OET Bulletin 65, *Evaluating compliance with FCC guidelines for human exposure to radiofrequency electromagnetic fields.*

[11] IEEE 644, *Standard procedures for measurement of power frequency electric and magnetic fields from a.c. power lines.*

[12] IEEE 473*, IEEE recommended practice for an electromagnetic site survey (10 kHz to 10 GHz).*

[13] ITU-R draft Recommendation BS.6/BL/25 (2005), *Evaluating fields from terrestrial broadcasting transmitting systems operating in any frequency band for assessing exposure to non-ionizing radiation.*

[14] IEEE 1528, *IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques.*

[15] ETSI TR 101 870, *Fixed radio transmitter sites; Exposure to non-ionizing electromagnetic fields; Guidelines for working conditions.*

СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия A	Организация работы МСЭ-Т
Серия B	Средства выражения: определения, символы, классификация
Серия C	Общая статистика электросвязи
Серия D	Общие принципы тарификации
Серия E	Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы
Серия F	Нетелефонные службы электросвязи
Серия G	Системы и среда передачи, цифровые системы и сети
Серия H	Аудиовизуальные и мультимедийные системы
Серия I	Цифровая сеть с интеграцией служб
Серия J	Кабельные сети и передача сигналов телевизионных и звуковых программ и других мультимедийных сигналов
Серия K	**Защита от помех**
Серия L	Конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений
Серия M	TMN и техническое обслуживание сетей: международные системы передачи, телефонные, телеграфные, факсимильные и арендованные каналы
Серия N	Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ
Серия O	Требования к измерительной аппаратуре
Серия P	Качество телефонной передачи, телефонные установки, сети местных линий
Серия Q	Коммутация и сигнализация
Серия R	Телеграфная передача
Серия S	Оконечное оборудование для телеграфных служб
Серия T	Оконечное оборудование для телематических служб
Серия U	Телеграфная коммутация
Серия V	Передача данных по телефонной сети
Серия X	Сети передачи данных и взаимосвязь открытых систем
Серия Y	Глобальная информационная инфраструктура, аспекты межсетевого протокола и сети последующих поколений
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи

Отпечатано в Швейцарии
Женева, 2005 г.