

Международный союз электросвязи

МСЭ-R
Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R SM. 1875-3
(08/2019)

**Измерение покрытия DVB-T и проверка
критериев планирования**

Серия SM
Управление использованием спектра



Международный
союз
электросвязи

Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2020 г.

© ITU 2020

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R SM.1875-3

Измерение покрытия DVB-T и проверка критериев планирования

(2010-2013-2014-2019)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации описаны методы измерения покрытия передатчиков и сетей DVB-T и DVB-T2, а также оценки результатов измерений. Большинство описанных принципов применимы и к другим системам цифрового радиовещания, в особенности к системам с использованием модуляции OFDM (например, DAB), однако примеры значений, используемых в настоящей Рекомендации, взяты только из систем DVB-T/T2.

Ключевые слова

Измерение, покрытие, служба, DVB-T, DVB-T2, контроль излучений, прогнозы покрытия.

Сокращения/гlossарий

BER	Bit error ratio	КОБ	Коэффициент ошибок по битам
C/N	Carrier-to-noise ratio		Отношение несущая/шум
C/I	Carrier-to-interference ratio also referred to as protection ratio in this Recommendation		Отношение несущая/помеха, в настоящей Рекомендации также называемое защитным отношением
FEC	Forward error correction		Упреждающая коррекция ошибок
DVB-T/T2	Terrestrial Digital Video Broadcasting		Цифровое наземное телевизионное радиовещание
FX	Fixed reception	ФП	Фиксированный прием
GE06 Agreement		Соглашение GE06	Региональное соглашение и приложения к нему вместе с соответствующими Планами, составленными Региональной конференцией радиосвязи 2006 года по планированию цифровой наземной радиовещательной службы в Районе 1 (частях Района 1, расположенных к западу от меридиана 170° в. д. и к северу от параллели 40° ю. ш., за исключением территории Монголии) и в Исламской Республике Иран в полосах частот 174–230 МГц и 470–862 МГц (Женева, 2006 год)
LDPC	Low Density Parity Check-code		Код проверки четности низкой плотности
MFN	Multi-frequency network	МЧС	Многочастотная сеть

PI	Portable indoor reception	ВП	Прием на портативное оборудование внутри помещений
PO	Portable outdoor reception	НП	Наружный прием на портативное оборудование/ прием вне помещений
QEF	Quasi-error-free		Почти безошибочный
QoS	Quality of service		Качество обслуживания
RF	Radio frequency	РЧ	Радиочастота
SFN	Single frequency network	ОЧС	Одночастотная сеть

Соответствующие Рекомендации и Отчеты МСЭ-R

Рекомендации МСЭ-R BT.419, МСЭ-R P.1546, МСЭ-R BT.1735, МСЭ-R BT.2265 и МСЭ-R P.1812.

Отчет МСЭ-R BT.2254.

ПРИМЕЧАНИЕ. – В каждом случае следует использовать последнее издание Рекомендации/Отчета.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

a) что в Соглашении GE06 определены условия приема, необходимые отношения сигнал/шум и минимальные значения напряженности поля для приема сигналов DVB-T;

b) что станции контроля излучений должны осуществлять измерение покрытия передатчиков и сетей DVB-T/T2 для проверки соответствия прогнозам покрытия, используемым в процессе планирования, или для оценки условий приема в местоположениях, в которых, согласно сообщениям, создаются помехи,

признавая,

a) что в Отчете МСЭ-R BT.2254 определены условия приема, необходимые отношения сигнал/шум и минимальные значения напряженности поля для приема сигналов DVB-T2;

b) что в Рекомендации МСЭ-R BT.1735 представлены методы, призванные помочь оценке качества приема сигналов служб цифрового наземного телевизионного радиовещания;

рекомендует,

что для оценки покрытия DVB-T/T2 и сравнения полученных результатов с прогнозами следует использовать методы, описанные в Прилагаемых документах 1, 2, 3 и 4 к Приложению.

ПРИМЕЧАНИЕ. – В разделе 3 Приложения к настоящей Рекомендации содержатся указания относительно выбора метода в зависимости от проектного решения сети DVB-T/T2, рельефа местности и цели измерения.

Приложение

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
1 Введение.....	5
2 Термины и определения для целей настоящей Рекомендации	5
2.1 Диаграмма направленности антенны для фиксированного приема	6
2.2 КПД антенны	6
2.3 Зона присвоений.....	7
2.4 Коэффициент ошибок по битам.....	7
2.5 Ячейка.....	7
2.6 Отношение несущая/шум	7
2.7 Зона покрытия.....	8
2.8 Зона обслуживания.....	8
2.9 Прогнозирование покрытия	9
2.10 Коэффициент амплитуды	9
2.11 Защитный интервал.....	9
2.12 Потери при уменьшении высоты	9
2.13 Напряженность поля мешающего сигнала	9
2.14 Медиана.....	10
2.15 Минимальная медианная напряженность поля (E_{med}).....	10
2.16 МЧС	10
2.17 Минимальный эквивалентный уровень сигнала	10
2.18 Минимальная (эквивалентная) напряженность поля полезного сигнала (E_{min})	11
2.19 Усиление за счет сети	11
2.20 Защитное отношение.....	11
2.21 Почти безошибочный прием	12
2.22 Напряженность поля принимаемого сигнала	12
2.23 Сценарий приема.....	12
2.24 Канал приема	13
2.25 Соглашение GE06.....	14
2.26 Собственные помехи в ОЧС.....	14
2.27 Одночастотная сеть.....	14
2.28 Стандартное отклонение.....	14

2.29	Стандартное отклонение амплитудно-частотных характеристик (σ_{sp})	14
2.30	σ_{sp} -поправка (C_σ).....	15
2.31	Небольшая зона	15
2.32	Подстановочный передатчик	15
2.33	Вариант системы	16
2.34	Напряженность поля полезного сигнала.....	16
3	Методы измерения	16
Прилагаемый документ 1. Проверка прогноза покрытия для фиксированного приема.....		18
A1.1	Выбор местоположений измерения.....	18
A1.2	Необходимое измерительное оборудование.....	19
A1.3	Процедура измерения	20
A1.4	Оценка результатов.....	21
A1.5	Представление результатов.....	24
A1.6	Проверка покрытия	25
Прилагаемый документ 2. Проверка прогноза покрытия для приема на портативное оборудование.....		25
A2.1	Принцип измерения	25
A2.2	Необходимое измерительное оборудование.....	26
A2.3	Процедура измерения	28
A2.4	Оценка результатов.....	30
A2.5	Представление результатов.....	30
Прилагаемый документ 3. Упрощенный метод определения границы покрытия передатчиков и сетей DVB-T/T2.....		32
A3.1	Введение.....	32
A3.2	Измеренные параметры сигнала	33
A3.3	Требования к оборудованию	33
A3.4	Планирование измерений	34
A3.5	Процедура измерения	35
A3.6	Обработка результатов измерения.....	37
A3.7	Измерения в ОЧС	40
Прилагаемый документ 4. Метод измерения покрытия службы DVB-T/T2 для фиксированного приема в определенных областях		41
A4.1	Введение.....	41
A4.2	Требования к оборудованию	41

Стр.

A4.3	Планирование измерений	43
A4.4	Процедура измерения	44
A4.5	Обработка результатов измерения.....	44
A4.6	Отображение результатов измерения.....	45
Прилагаемый документ 5. Необходимые корректировки результатов измерения		46
A5.1	Поправка канала приема (σ_{sp} -поправка).....	46
A5.2	Поправка на вероятность охвата местоположений	46
A5.3	Общая поправка в отношении покрытия внутри помещений.....	47

1 Введение

Службы контроля излучений должны выполнять оценку покрытия сетей радиовещания для различных целей:

- для проверки сделанных с помощью компьютерных средств прогнозов, которые используются для планирования сети;
- для проверки соблюдения условий лицензии, если в лицензии на радиовещание указана определенная область, процент области или процент населения, охватываемые данной службой радиовещания;
- для оценки условий приема в конкретных местоположениях, в которых, согласно сообщениям, создаются помехи.

В силу определенных условий и принципов, характерных для приема системами с цифровой модуляцией, покрытие сетей цифрового наземного телевидения должно измеряться иначе, чем покрытие аналоговых сетей.

В настоящей Рекомендации изложены принципы измерения и описаны процедуры и необходимое оборудование для оценки покрытия передатчиков и сетей DVB-T/T2 для фиксированного и подвижного приема. Она предназначена для служб контроля излучений. Радиовещательным организациям, желающим обеспечить возможность получения их услуг с помощью коммерчески доступного оборудования в пределах их целевой зоны покрытия, могут потребоваться дополнительные критерии качества обслуживания.

Притом что настоящая Рекомендация специально предназначена для DVB-T/T2, большая часть представленной здесь информации также справедлива и для других систем цифрового наземного радиовещания.

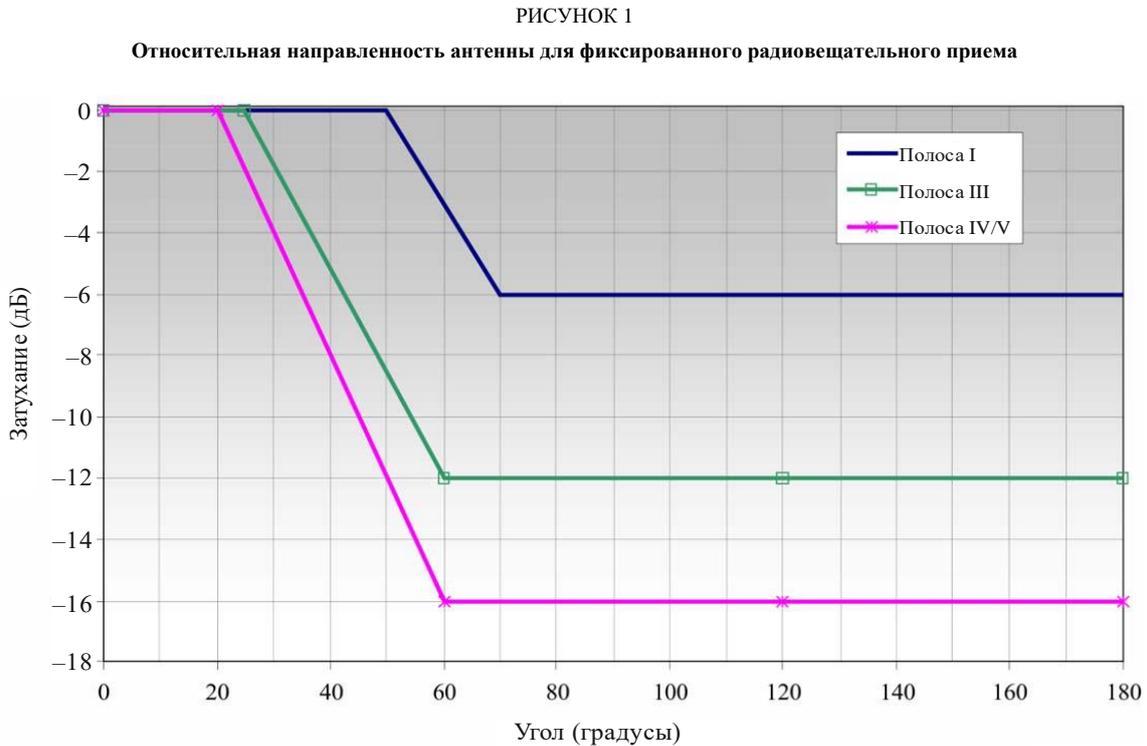
Измерения для проверки технических параметров передатчика и сети в настоящей Рекомендации не рассматриваются.

2 Термины и определения для целей настоящей Рекомендации

В настоящей Рекомендации используются следующие термины и определения. Определения общеизвестных терминов в настоящей Рекомендации интерпретированы и детализированы исключительно для вопросов покрытия, которые относятся к системе DVB-T/T2.

2.1 Диаграмма направленности антенны для фиксированного приема

Диаграмма направленности антенны характеризует относительный уровень на выходе антенны при приеме сигнала с разными углами. В Рекомендации МСЭ-R BT.419 определена направленность стандартной антенны, используемой для фиксированного радиовещательного приема, которая показана на рисунке 1. Для воспроизведения реальных условий приема на клиентской установке измерения покрытия для фиксированного приема следует выполнять с помощью измерительной антенны, имеющей такую же направленность.



SM.1875-01

Измерения покрытия для подвижного приема следует выполнять с помощью ненаправленных измерительных антенн. Максимальные относительные потери в любом направлении составляют ± 3 дБ.

2.2 КПД антенны

КПД антенны используется для расчета напряженности поля по уровню на выходе антенны. Поскольку его значение определяется, как правило, в дБ, для расчета используется следующая формула:

$$E = U + K \quad \text{дБ(мкВ/м)},$$

где:

- E : напряженность электрического поля на антенне (дБ(мкВ/м));
- U : измеренное значение напряжения на выходе антенны (дБ(мкВ));
- K : КПД антенны (дБ(1/м)).

КПД антенны зависит от частоты и усиления согласно следующей формуле:

$$K = 20 \text{ Log}(f) - G_i - 29,774 \quad (\text{для } 50\text{-омных систем}),$$

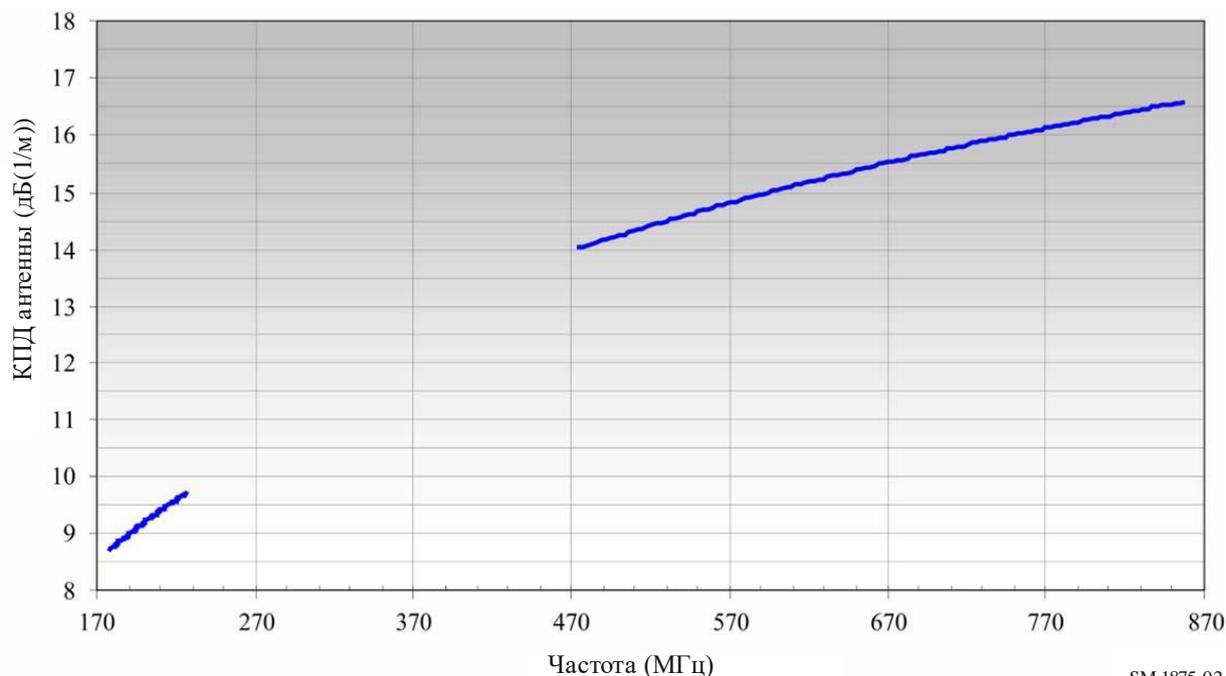
где:

- f : частота (МГц);
- G_i : усиление антенны относительно изотропного излучателя (дБ);
- K : КПД антенны (дБ(1/м)).

На рисунке 2 показан КПД стандартной антенны, используемой для фиксированного радиовещательного приема, согласно Рекомендации МСЭ-R ВТ.419, в направлении главного лепестка, который аналогичен лепестку антенны, используемой для измерения фиксированного приема.

РИСУНОК 2

КПД антенны для фиксированного радиовещательного приема



SM.1875-02

2.3 Зона присвоений

Зона присвоений – это зона покрытия, сформированная одним или несколькими передатчиками, в которой известны все параметры, связанные с процессом планирования, такие как мощность передатчика, высота и направленность антенны. Зона присвоений ограничена помехами, создаваемыми источниками, которые находятся за пределами этой зоны.

2.4 Коэффициент ошибок по битам

Как правило, коэффициент ошибок по битам (КОБ) – это число ошибочных битов, деленное на общее число битов, переданных в течение данного периода времени. Это мера качества приема цифрового сигнала. В силу того что в DVB-T используется внутренняя и внешняя защита от ошибок, можно определить КОБ после декодера Витерби и декодера Рида–Соломона при отключенном эфире.

КОБ, составляющий 10^{-4} после декодера Витерби, рассматривается как достаточный для приема DVB-T.

В DVB-T2 используется другой принцип исправления ошибок. Соответствующим параметром в этой системе является КОБ после (внутреннего) декодера LDPC. Значение КОБ (BER) после LDPC (LBER), равное 10^{-7} , считается достаточным для почти безошибочного приема DVB-T2.

2.5 Ячейка

Сетка из квадратов со стороной 500 м. В этой области стандартное отклонение напряженности поля составляет 5,5 дБ в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R P.1546.

2.6 Отношение несущая/шум

См. "защитное отношение".

2.7 Зона покрытия

Считается, что конкретная зона "покрыта" сигналом DVB-T/T2, если медианная напряженность поля в конкретной ситуации приема на определенной высоте над уровнем земли (обычно 10 м) и защитное отношение достигают значений, указанных в соответствующих документах планирования (например, в Соглашении GE06 для DVB-T и в Отчете МСЭ-R BT.2254 для DVB-T2), или превышают их.

Определение того, будет покрыта зона или нет, является результатом процесса расчета, выполненного с помощью инструмента прогнозирования покрытия, исходя из следующих определенных условий и/или значений:

- условия приема (например, фиксированный прием или прием на портативное оборудование);
- снижение напряженности поля в зависимости от расстояния, обусловленное топографией и морфологией;
- модель приемника (например, чувствительность и избирательность);
- приемная антенна (высота, усиление и направленность);
- канал приема (гауссовский, райсовский или рэлеевский).

Определение "покрытая" (охваченная) сопровождается также определенной вероятностью по времени и местоположению. Используя инструменты планирования, зона покрытия рассчитывается с этой вероятностью (например, для 50% времени и 50% местоположений).

Следовательно, нельзя предполагать, что прием DVB-T/T2 на стандартный приемник возможен в каждом конкретном местоположении в пределах зоны, определенной как покрытая.

Проверку покрытия невозможно выполнить, просто проверяя, работает ли стандартный приемник DVB-T/T2 в определенном местоположении. Наоборот, должны быть измерены такие технические параметры, как напряженность поля, предпочтительно при тех же условиях приема, которые были определены в инструменте планирования.

Для целей настоящей Рекомендации определение термина "покрытие" аналогично определению термина "номинальное покрытие" в базе данных терминов и определений МСЭ.

2.8 Зона обслуживания

Прием DVB-T/T2 считается возможным, если в определенном месте стандартный приемник может исправлять (почти) все ошибки в течение 99% времени и воспроизводить изображение. В сетях DVB-T значение КОБ после декодера Витерби должно быть менее $2 * 10^{-4}$. В сетях DVB-T2 значение КОБ после LDPC должно быть ниже 10^{-7} .

Фактическая напряженность поля для успешного приема сигналов DVB-T/T2 зависит от:

- варианта системы DVB-T/T2;
- характеристик приемника;
- усиления антенны;
- типа канала приема (гауссовский, райсовский или рэлеевский).

Проверка общей вероятности приема может быть выполнена путем измерения следующих параметров:

- медианная напряженность поля принимаемого сигнала;
- медианная напряженность поля помехи;
- тип канала приема.

Напряженность поля помех и/или присутствие достаточного отношения C/I можно косвенно определить путем измерения КОБ.

В ином случае может быть выполнена проверка приема с использованием стандартного приемника DVB-T/T2. Опыт проведения таких проверок показывает, что для приема на портативное оборудование иногда необходимы более высокие значения напряженности поля, чем медианные значения, указанные в соответствующих соглашениях.

Для целей настоящей Рекомендации зона обслуживания, как она определена в базе данных терминов и определений МСЭ, соответствует зоне, в которой выполнены вышеуказанные условия возможного приема.

2.9 Прогнозирование покрытия

Прогнозирование покрытия – это процедура расчета географической зоны, в пределах которой возможен прием услуги. Основу для прогнозирования составляют параметры передатчика, модели рельефа местности и распространения, и оно выполняется с помощью компьютерных средств. Результатом является определенная вероятность по местоположению и по времени.

В Соглашении GE06 и Отчете МСЭ-R BT.2254 значения минимальной напряженности поля для DVB-T/T2, которые должны достигаться на границе покрытия, действительны на высоте 10 м над уровнем земли и при фиксированном приеме с направленной антенной, соответствующей рисункам 1 и 2. Это медианы минимальных значений эквивалентной напряженности поля, и они зависят от варианта системы и канала приема.

2.10 Коэффициент амплитуды

Коэффициент амплитуды – это отношение пика и среднеквадратического значения уровня РЧ-излучений. Как правило, он выражается в дБ и, следовательно, является разницей между пиковым и среднеквадратическим уровнями (дБ).

2.11 Защитный интервал

Для того чтобы использовать все компоненты входящего сигнала отдельно от передаваемых по совмещенному каналу сигналов и отраженных сигналов, поступающих в разное время на приемник, а также для предотвращения помехи между двумя следующими один за другим символами, каждый символ передается несколько дольше, чем необходимо для декодирования сигнала. Это дополнительное время называется защитным интервалом. Фактический процесс декодирования в приемнике может начаться после прохождения защитного интервала. Длительность защитного интервала зависит от варианта системы и максимального расстояния до соседних передатчиков в одночастотной сети (ОЧС).

2.12 Потери при уменьшении высоты

Это разница значений напряженности поля на высоте 10 м над уровнем земли (эталон для планирования DVB-T/T2) и напряженности поля, принимаемой антенной, которая находится ближе к поверхности земли (например, 1,5 м в случае приема на портативное оборудование). Это значение является статистическим.

2.13 Напряженность поля мешающего сигнала

Напряженность поля мешающего сигнала создается сигналами работающих на той же частоте передатчиков, которые не являются частью исследуемой ОЧС или исследуемого передатчика; сигналами передатчиков, работающих в соседнем канале; и сигналами передатчиков исследуемой ОЧС, принимаемыми за пределами защитного интервала (собственные помехи). Она формируется путем векторного сложения непосредственно принимаемого компонента сигнала источника помех и сигналов, отраженных от находящихся в данной местности препятствий. Значение напряженности изменяется в зависимости от местоположения приемника, и вследствие вероятного нестационарного характера препятствий оно также изменяется во времени. Реальное значение напряженности поля в пределах определенной зоны может, следовательно, описываться только статистически через медианное значение и стандартное отклонение.

На практике измерение напряженности поля мешающего сигнала может оказаться сложным, особенно если оно значительно ниже уровня полезного сигнала и если совпадает направление приема сигналов мешающего и полезного передатчиков. К возможным способам улучшения условий измерения напряженности поля мешающего сигнала относятся следующие:

- использование измерительной антенны с высокой направленностью для разделения полезных и мешающих сигналов путем изменения азимута;
- измерение сигнала на разной частоте, излучаемой в том же местоположении, в котором находится мешающий передатчик. В этом случае может быть применена поправка, учитывающая различные потери вследствие затухания по разнице частоты, а также разную мощность передатчика на частоте измерения;
- отключение полезного передатчика или ОЧС на период измерений.

Иначе, измерение КОБ в точках приема, где возможна синхронизация, может быть выполнено в виде косвенной оценки отношения между напряженностью поля полезного и мешающего сигналов (C/I).

Если мешающий сигнал более чем на 30 дБ ниже напряженности поля полезного сигнала, его влиянием на прием сигналов полезного передатчика или ОЧС можно пренебречь.

2.14 Медиана

Медиана рассчитывается по общему значению большого числа отсчетов (например, серии измеренных значений напряженности поля), так чтобы 50% всех отсчетов были выше медианного значения, а другие 50% отсчетов – ниже. Медиана – это статистическое значение, и она определяет 50%-ное совпадение или вероятность.

Пример. Напряженность поля измеряется в 100 местоположениях в пределах определенной зоны. Медиана всех измеренных значений составляет 42 дБ(мкВ/м). Это значит, что вероятность того, что фактическая напряженность поля в **любом** местоположении в пределах этой зоны будет равна по крайней мере 42 дБ(мкВ/м), составляет 50%.

Преимущество использования медианы при статистическом определении напряженности поля заключается в том, что сильно отличающиеся единичные значения не влияют на результат в такой степени, как усредненное или среднее значение.

2.15 Минимальная медианная напряженность поля (E_{med})

Это медианная напряженность поля, базирующаяся на расчете по определенному проценту местоположений в пределах зоны приема. В соответствующих текстах по планированию, таких как Соглашение GE06 для DVB-T и Отчет МСЭ-R BT.2254 для DVB-T2, ее значения даются для антенны на высоте 10 м над уровнем земли и с вероятностью охвата 50% местоположений. Значения приводятся для каждого варианта системы.

В отсутствие поправки эти значения представляют только вариант фиксированного приема. Для варианта приема на портативное оборудование должны применяться поправочные коэффициенты для других значений высоты антенны, усиления антенны, требуемого уровня вероятности по местоположению и времени, а также других значений потерь при проникновении в здание (в соответствующих случаях).

Планирование сети обеспечивает, чтобы минимальная напряженность поля полезного сигнала по крайней мере теоретически достигалась по всей зоне покрытия, с учетом излучаемой мощности передатчика, высоты антенны передатчика и топографии местности.

2.16 МЧС

МЧС – аббревиатура, используемая для обозначения многочастотной сети. Это сеть, в зоне покрытия которой каждый передатчик работает на собственной частоте.

2.17 Минимальный эквивалентный уровень сигнала

Минимальный уровень на входе приемника, необходимый для декодирования полезного сигнала, равен сумме значений минимального зависящего от системы отношения сигнал/шум (S/N) и коэффициента шума приемника. Минимальное отношение S/N позволяет приемнику декодировать сигнал в условиях почти безошибочного приема (QEF). Оно зависит от варианта системы и канала

приема. Коэффициент шума приемника предполагает определенное качество работы приемника и для стандартного приемника DVB-T/T2 определяется равным 6–7 дБ.

2.18 Минимальная (эквивалентная) напряженность поля полезного сигнала (E_{\min})

Это минимальная напряженность поля одиночного полезного сигнала, необходимая для декодирования сигнала QEF стандартным приемником в отсутствие любых мешающих сигналов. Это минимальный эквивалентный уровень сигнала на входе приемника плюс КПД антенны, и он действителен для конкретного местоположения приема, то есть без поправки по местоположению и вероятности.

2.19 Усиление за счет сети

Если сигналы от нескольких полезных передатчиков в ОЧС могут приниматься в пределах данного защитного интервала, качество приема может быть улучшено и минимальная напряженность поля полезного сигнала от каждого передатчика может быть меньшей. Однако усиление за счет сети – это не сумма значений напряженности поля полезных сигналов от всех передатчиков, от которых возможен прием. Это просто более высокая вероятность приема лучшего сигнала по дополнительному направлению по сравнению с приемом только от одного передатчика.

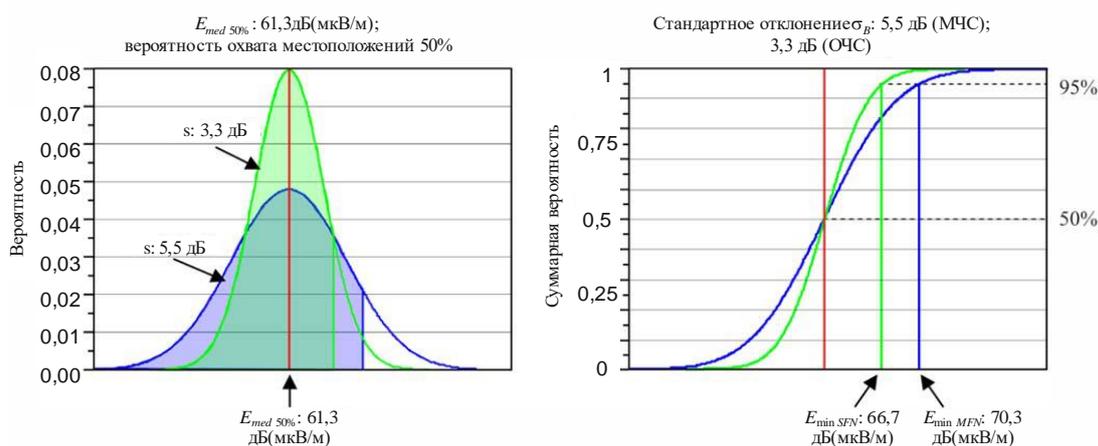
Усиление за счет сети – это разность значений напряженности поля принимаемых сигналов в ОЧС и МЧС, необходимой для обеспечения той же вероятности охвата местоположений.

В ОЧС увеличение числа передатчиков приводит к более однородному распределению напряженности поля в зоне покрытия. Стандартное отклонение σ значений напряженности поля меньше.

Пример. Минимальная медианная напряженность поля E_{med} для данного варианта системы в соответствии с международными соглашениями составляет 61,3 дБ(мкВ/м). Это по определению применяется к вероятности охвата 50% местоположений. В ОЧС вероятность минимальной напряженности поля полезного сигнала E_{\min} для 95% местоположений составляет 66,7 дБ(мкВ/м), для МЧС она равна 70,3 дБ(мкВ/м). Таким образом, усиление за счет сети составляет 3,6 дБ (см. рисунок 3).

РИСУНОК 3

Усиление за счет сети



SM.1875-03

2.20 Защитное отношение

Защитное отношение (C/I) – это разница между уровнем полезного сигнала и суммой уровней всех мешающих сигналов, выраженная в дБ. Для DVB-T требуемые защитные отношения приведены в Соглашении GE06. Для DVB-T2 они приведены в Отчете МСЭ-R ВТ.2254. Эти отношения зависят от варианта системы.

В отсутствие мешающих сигналов шумом является одиночный "источник помех", и отношение C/I становится равным отношению несущая/шум (C/N).

2.21 Почти безошибочный прием

Как и для многих цифровых систем, в которых используется упреждающая коррекция ошибок (FEC), почти безошибочный прием определяется в точке, в которой появляется только одна неисправленная ошибка в час. Для систем DVB-T соответствующие значения КОБ составляют:

- $1 * 10^{-11}$ после декодера Рида–Соломона;
- $2 * 10^{-4}$ после декодера Витерби.

Для DVB-T2 соответствующее значение КОБ после LDPC составляет 10^{-7} .

Эти значения широко используются в международных соглашениях, таких как Соглашение GE06.

2.22 Напряженность поля принимаемого сигнала

Напряженность поля принимаемого сигнала формируется путем векторного сложения непосредственно принимаемого компонента сигнала и сигналов, отраженных от находящихся в данной местности препятствий. Значение напряженности изменяется в зависимости от местоположения приемника, и вследствие вероятного нестационарного характера препятствий оно также изменяется во времени. Реальное значение напряженности поля в пределах определенной зоны может, следовательно, описываться только статистически через медианное значение и стандартное отклонение.

2.23 Сценарий приема

Были определены следующие сценарии приема:

- фиксированный прием (ФП);
- наружный прием на портативное оборудование (НП или "прием класса А на портативное оборудование");
- прием на портативное оборудование внутри помещений (ВП или "прием класса В на портативное оборудование");
- подвижный прием (ПП).

В таблице 1 перечислены некоторые основные характеристики и параметры, используемые для этих сценариев приема.

ТАБЛИЦА 1
Сценарии и параметры приема DVB-T/T2

	ФП	НП	ВП	ПП
Местоположение приемника	За пределами зданий	За пределами зданий	В зданиях	На крыше автомобиля, в движении
Антенна, усиление	Направленная, 7...12 дБи	Ненаправленная, -2,2...0 дБи	Ненаправленная, -2,2...0 дБи	Ненаправленная, -2,2...0 дБи
Высота антенны	10 м над уровнем земли ⁽¹⁾	Минимум 1,5 м над уровнем земли	1,5 м над уровнем пола	1,5 м над уровнем земли
Поляризация	Горизонтальная/вертикальная	Развязка по поляризации не применяется	Развязка по поляризации не применяется	Развязка по поляризации не применяется
Потери в кабеле	2...5 дБ	0 дБ	0 дБ	0 дБ

Потери при проникновении в здание	0 дБ	0 дБ	ОВЧ: 9 дБ УВЧ: 8 дБ Стандартное отклонение: ОВЧ: 3 дБ УВЧ: 5,5 дБ	0 дБ
-----------------------------------	------	------	---	------

⁽¹⁾ В инструментах планирования всегда предполагается, что для фиксированного приема высота антенны над уровнем земли составляет 10 м. Для реалистичной оценки вероятности приема в местах со средней высотой крыш более 10 м измерения также можно выполнить на высоте, превышающей среднюю высоту крыш на 1,5 м.

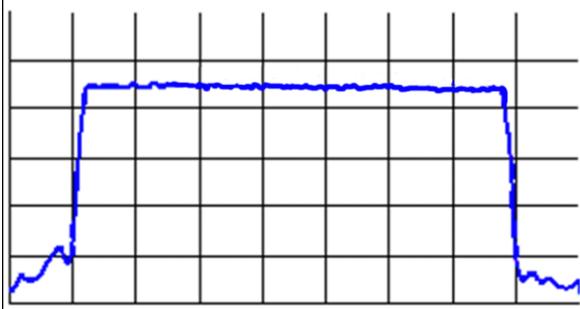
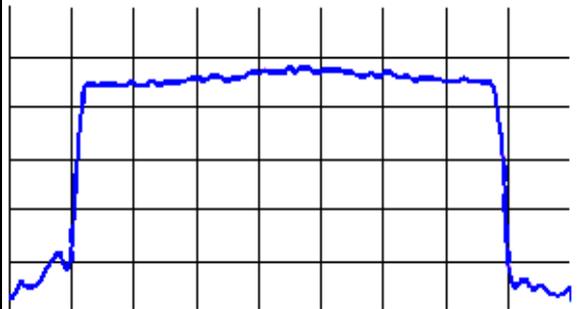
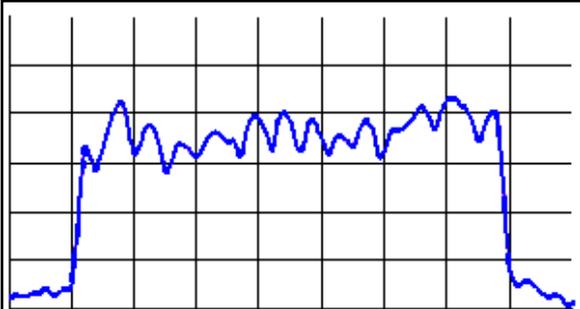
2.24 Канал приема

Вследствие явлений отражения, затенения и приема сигналов от нескольких передатчиков ОЧС принимаемый спектр может искажаться. Порядок этого искажения определяет канал приема, указанный в таблице 2.

Стандартное отклонение амплитудно-частотных характеристик σ_{sp} оказывает воздействие на значение минимального уровня на входе приемника, необходимого для декодирования сигнала DVB-T/T2.

ТАБЛИЦА 2

Каналы приема DVB-T/T2

<p>Гауссовский канал</p> <p>Принимается только сигнал передатчика, который находится на линии прямой видимости. Не принимаются отраженные сигналы и излучения в совмещенном канале. В результате спектр OFDM имеет прямоугольную форму. Стандартное отклонение амплитудно-частотных характеристик в ширине полосы канала σ_{sp} находится в диапазоне от 0 до 1 дБ.</p>	
<p>Райсовский канал</p> <p>Кроме прямого сигнала принимаются также несколько меньших сигналов в совмещенном канале и отраженные сигналы. Спектр OFDM несколько изменяется по амплитуде с изменением частоты. Стандартное отклонение амплитудно-частотных характеристик в ширине полосы канала σ_{sp} находится в диапазоне от 1 до 3 дБ.</p>	
<p>Рэлеевский канал</p> <p>Принимаемый сигнал состоит только из отраженных сигналов и компонентов сигналов разных передатчиков, работающих в совмещенном канале. Доминирующий прямой сигнал не принимается. Спектр OFDM имеет значительные возмущения. Стандартное отклонение амплитудно-частотных характеристик в ширине полосы канала σ_{sp} значительно превышает 3 дБ.</p>	

Важно определить тип канала приема при измерении напряженности поля DVB-T/T2, поскольку согласно стандартам планирования минимальная требуемая напряженность поля зависит от канала приема. Рэлеевские каналы требуют наивысших значений напряженности поля, гауссовские каналы – низших.

Опыт показывает, что в подавляющем большинстве реальных ситуаций приема будут использоваться райсовские и рэлеевские каналы. Гауссовские каналы используются весьма редко.

2.25 Соглашение GE06

Региональное соглашение и приложения к нему вместе с соответствующими *Планами*, составленными Региональной конференцией радиосвязи 2006 года по планированию цифровой наземной радиовещательной службы в Районе 1 (частях Района 1, расположенных к западу от меридиана 170° в. д. и к северу от параллели 40° ю. ш., за исключением территории Монголии) и в Исламской Республике Иран в полосах частот 174–230 МГц и 470–862 МГц (Женева, 2006 год) (Соглашение GE06).

2.26 Собственные помехи в ОЧС

В данном контексте собственные помехи в ОЧС – это ухудшение принимаемого сигнала вследствие смешения непосредственно принимаемого компонента сигнала и:

- отраженных компонентов сигнала от того же передатчика;
- сигналов от других передатчиков, работающих на той же частоте и входящих в состав той же ОЧС,

которые принимаются за пределами защитного интервала.

2.27 Одночастотная сеть

ОЧС состоит из двух и более передатчиков, которые синхронизированы по времени и передают тот же программный контент. Планирование сети должно обеспечивать, чтобы во всех местах приема в пределах зоны покрытия ОЧС сигналы от всех передатчиков (сигналы которых могут приниматься), входящих в состав этой ОЧС, поступали на приемник в течение защитного интервала. Это осуществляется путем выбора варианта системы и максимального расстояния между двумя соседними передатчиками в пределах конкретной ОЧС.

2.28 Стандартное отклонение

Стандартное отклонение – это показатель дисперсии в серии отсчетов. Это среднее отклонение всех отсчетов от среднего арифметического, и оно может быть рассчитано следующим образом:

среднее арифметическое:
$$\mu = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n},$$

стандартное отклонение:
$$\sigma = \sqrt{\frac{(P_1 - \mu)^2 + (P_2 - \mu)^2 + \dots + (P_n - \mu)^2}{n - 1}},$$

где:

$P_1 \dots P_n$: значения отсчетов.

2.29 Стандартное отклонение амплитудно-частотных характеристик (σ_{sp})

Экспериментально было установлено, что уровни стандартного отклонения спектральных амплитуд (см. пункт 2.27), измеренные в логарифмических единицах (дБ(мкВ) или дБм), соответствуют значениям σ_{sp} , приведенным в пункте 2.24 "Канал приема".

2.30 σ_{sp} -поправка (C_σ)

Необходимое отношение C/N , приведенное в соответствующих международных документах, таких как Соглашение GE06 и Отчет МСЭ-R BT.2254, зависит от канала приема: рэлеевские каналы требуют высокого C/N , райсовские каналы – среднего и гауссовские каналы – низшего значения C/N . Типовым значением, определяющим канал приема, является стандартное отклонение амплитудно-частотных характеристик по всей ширине полосы DVB-T/T2 (σ_{sp}). В целях соответствия международным текстам в данном документе предполагается, что σ_{sp} имеет следующие значения:

ТАБЛИЦА 3

Стандартное отклонение амплитудно-частотных характеристик (σ_{sp})

Канал приема	σ_{sp}
Гауссовский	$\sigma_{sp} \leq 1$ дБ
Райсовский	$1 \text{ дБ} < \sigma_{sp} < 3$ дБ
Рэлеевский	$\sigma_{sp} \geq 3$ дБ

Вместе с тем истинные значения σ_{sp} в действительных точках измерения чаще всего будут отличаться от этих крайних значений. Как правило, они будут лежать в диапазоне от 1 до 5 дБ. Для сравнения измеренной напряженности поля с определенной в международных текстах необходимо определить канал приема и σ_{sp} для каждого измерения. Поправочное значение C вычитается из каждого измеренного значения в соответствии со следующей формулой:

$$C_\sigma = \frac{\frac{C}{N}_{Rayleigh} - \frac{C}{N}_{Gauss}}{2} \cdot (\sigma_{sp} - 3),$$

где $C/N_{Rayleigh}$ и C/N_{Gauss} берутся из соответствующих международных текстов, таких как Соглашение GE06, в зависимости от используемого варианта системы. Этот процесс называется σ_{sp} -поправкой.

Эта формула устанавливает линейную интерполяцию между значениями σ_{sp} и далее на границах гауссовского/рэлеевского (1 дБ) и райсовского/рэлеевского (3 дБ) каналов. В зависимости от канала приема значение C_σ может быть отрицательным.

Несколько примеров σ_{sp} -поправки представлены на диаграммах в Прилагаемом документе 2.

2.31 Небольшая зона

"Небольшая зона" – это участок размером примерно $100 \text{ м} \times 100 \text{ м}$, в пределах которого напряженность поля и ситуация приема принимаются одинаковыми. Она используется для преобразования измерений, выполненных в определенных местах, в оценку ситуации внутри какой-либо зоны. Измерения напряженности поля, канала приема и КОБ выполняются в одном или нескольких местах внутри небольшой зоны. Если измерения проводятся в нескольких местах, то рассчитываются медианные значения. Предполагается, что результаты действительны для небольшой зоны.

2.32 Подстановочный передатчик

Это передатчик, который работает в том же местоположении, что и измеряемый передатчик, но на другой частоте. Подстановочный передатчик может использоваться для измерений, если основной передатчик еще не установлен или если на его сигнал воздействуют слишком значительные мешающие сигналы. Если подстановочного передатчика не существует, возможно использовать тестовый передатчик, который устанавливается только для измерений.

2.33 Вариант системы

Ряд параметров системы DVB-T/T2 может регулироваться в соответствии с потребностями планирования сети. Конкретный набор параметров определяет вариант системы. Основные переменные параметры приведены в нижеследующей таблице.

ТАБЛИЦА 4

Основные параметры, определяющие вариант системы DVB-T/T2

Параметр	DVB-T	DVB-T2
Ширина полосы РЧ	7 МГц, 8 МГц	1,7 МГц, 5,0 МГц, 6,0 МГц, 7,0 МГц, 8,0 МГц
Число поднесущих	2к, 8к	1к, 2к, 4к, 8к, 16к, 32к
Модуляция поднесущей	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM
Скорость кодирования	1/2, 2/3, 3/4	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Защитный интервал	1/8, 1/4	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4
Поворот диаграммы созвездия	Нет	Да

2.34 Напряженность поля полезного сигнала

Это полная напряженность поля принимаемого сигнала полезного передатчика или сети в любом местоположении приема. При сравнении измеренных значений напряженности поля ОЧС с требуемыми значениями напряженности поля напряженность поля полезного сигнала может быть увеличена благодаря усилению за счет сети.

3 Методы измерения

В следующих Прилагаемых документах описываются различные методы измерения и оценки покрытия услугами DVB-T/T2.

В Прилагаемом документе 1 содержится описание метода проверки прогнозируемых зон покрытия для фиксированного приема. Данный метод основан на том принципе, что фактические измерения проводятся только в пределах определенных испытательных зон. Такие зоны размещаются в деревнях или городах, расположенных на границе прогнозируемой зоны покрытия. Оценивая результаты измерений напряженности поля, выполненных в нескольких местах в пределах испытательных зон, можно сравнить фактическую ситуацию с покрытием с прогнозируемой зоной покрытия. Если измеренное в испытательных зонах покрытие соответствует прогнозируемому или превышает его, можно предположить, что это относится ко всей зоне обслуживания передатчика или сети DVB-T/T2.

В Прилагаемом документе 2 приведено описание метода прогнозируемых зон покрытия для приема на портативное оборудование. Он основан на том принципе, что во время движения по большей части дорог в пределах определенных испытательных зон делается большое количество замеров (отсчетов) напряженности поля. Испытательные зоны размещаются в деревнях или городах, расположенных на границе прогнозируемой зоны покрытия. После применения нескольких поправок (например, учитывающих тракт приема и тот факт, что прием на портативное оборудование измерялся в движении) процент полученных отсчетов напряженности поля, превышающих минимальную требуемую напряженность поля, сравнивается с прогнозируемым процентом покрытия в пределах испытательной зоны. Если измеренное в испытательных зонах покрытие соответствует прогнозируемому или превышает его, можно предположить, что это относится ко всей зоне обслуживания передатчика или сети DVB-T/T2.

В Прилагаемом документе 3 описан упрощенный метод определения границы покрытия передатчика или сети DVB-T/T2 для фиксированного приема. Этот метод основан на том принципе, что измерение напряженности поля проводится в нескольких местах вдоль маршрутов в направлении от передатчика (передатчиков) или в направлении передатчика (передатчиков). Рассчитывается кривая напряженности

поля в зависимости от расстояния, которая наилучшим образом соответствует результатам измерений. Расстояние, на котором эта кривая напряженности поля достигает минимально необходимой напряженности поля в соответствии с критериями планирования, определяет границу покрытия передатчика или сети DVB-T/T2. Данный метод наиболее эффективен при наличии прогнозов покрытия, поскольку точки измерения могут быть выбраны только вокруг прогнозируемой границы покрытия. Тем не менее в принципе он работает и в том случае, если априорные знания о зоне покрытия отсутствуют.

В Прилагаемом документе 4 приведено описание метода проверки фактического покрытия в конкретных представляющих интерес зонах. Это могут быть, например, районы с неоднородным рельефом местности, где модели распространения ненадежны, или населенные пункты, известные проблемами с приемом сигналов DVB-T/T2. Данный метод основан на том принципе, что измерения напряженности поля и КОБ проводятся в ряде небольших зон по измерительной сетке, наложенной на представляющую интерес зону. Когда минимальная требуемая напряженность поля достигнута или превышена, а соответствующее значение КОБ достаточно низкое, небольшая зона считается покрытой. При использовании данного метода для исследования зон, в которых, по сообщениям, создаются помехи, знание прогнозов покрытия не требуется.

В случае фиксированного приема единого метода измерения покрытия, оптимального для всех возможных условий измерения, не существует. В зависимости от типа сети DVB-T/T2 (ОЧС или МЧС), размера зоны покрытия, рельефа местности, наличия или отсутствия внешних и внутренних помех и цели измерения один из методов, описанных в Прилагаемых документах 1, 3 и 4, можно рассматривать в качестве более подходящего для измерения покрытия DVB-T/T2 и сопоставления с прогнозами по сравнению с двумя другими. В следующей таблице содержатся рекомендации по применимости различных методов измерения:

ТАБЛИЦА 5

Сравнение методов измерения для фиксированного приема

Тема/вопрос	Метод из Прилагаемого документа 1	Метод из Прилагаемого документа 3	Метод из Прилагаемого документа 4
Наличие прогноза покрытия	Необходимо	Не обязательно, но значительно облегчает измерения	Требуется не всегда, в зависимости от цели измерения
Применимо в сетях ОЧС	Да	В принципе да, но трудоемкость измерения возрастает с увеличением количества передатчиков в ОЧС	Да
Трудоемкость измерения	Высокая для большой точности результатов, зависит от количества испытательных зон	Низкая, особенно если имеется прогноз покрытия	Высокая
Рельеф местности в зоне покрытия	Любой	Предпочтительно ровный	Любой

Необходимо рассмотреть следующие вопросы, связанные с рекомендуемыми методами измерения.

- а) Может оказаться невозможным правильно оценить ухудшение качества приема из-за собственных помех методами, описанными в Прилагаемых документах 1 и 2, поскольку не всегда можно отделить напряженность поля полезного сигнала от мешающего. Метод, рассмотренный в Прилагаемом документе 4, позволяет косвенно измерить напряженность поля помех, оценивая КОБ. Если в местах с достаточной напряженностью поля полезного сигнала прием невозможен или КОБ слишком высок, это может быть вызвано только мешающими сигналами – либо внешними, либо сигналами собственных помех.

- b) Усиление за счет сети в ОЧС, рассчитанное по распределению измеренной напряженности поля в методах 1 и 2, может отличаться от усиления за счет сети, допускаемого инструментами планирования.
- c) Измерение КОБ по своей природе зависит от используемого приемника DVB-T/T2, особенно от его коэффициента шума. Чтобы свести это влияние к минимуму, необходимо принять меры для достижения максимального общего коэффициента шума приемника в 6–7 дБ, как предполагалось при планировании. Это можно сделать, например установив перед измерительным приемником внешний малошумящий усилитель.
- d) Отражения полезного сигнала в точках измерения не прогнозируются инструментами планирования, но включаются в результат измерения. Их влияние может быть конструктивным или деструктивным в зависимости от задержки относительно прямого сигнала или других отражений.

По вышеуказанным причинам результаты измерения покрытия в определенных точках или зонах приема могут отличаться от прогнозируемой зоны покрытия, хотя прогноз можно считать реалистичным.

Прилагаемый документ 1

Проверка прогноза покрытия для фиксированного приема

A1.1 Выбор местоположений измерения

Для точной проверки истинной зоны покрытия потребуется провести измерения практически во всех местоположениях в пределах этой зоны. Для обеспечения осуществимого объема измерений они проводятся только в определенном количестве испытательных зон вблизи границы прогнозируемой зоны покрытия передатчика DVB-T/T2 или сети ОЧС. Измеренное в пределах испытательных зон покрытие экстраполируется для проверки прогнозируемого покрытия всей сети. Для получения требуемой точности экстраполяции требуется достаточное количество испытательных зон.

Эти зоны желательно размещать:

- на границе прогнозируемой зоны покрытия;
- в районах с высокой плотностью населения, исключая районы, где прием не требуется;
- в районах с разнообразным рельефом местности (холмистым и равнинным);
- в разных направлениях от передатчика или сети DVB-T/T2.

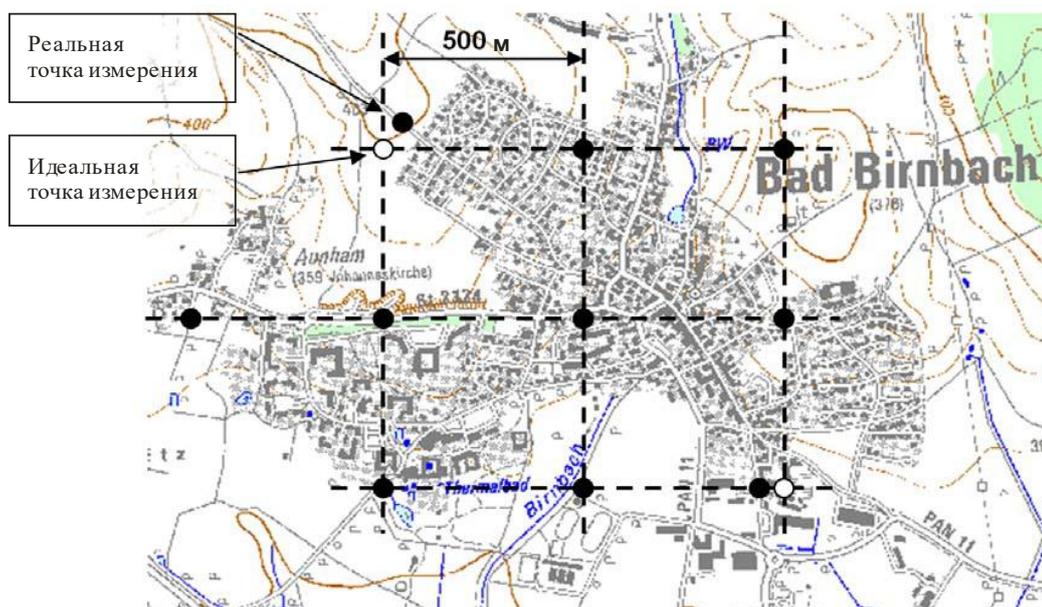
Количество выбранных испытательных зон зависит:

- от разнообразия рельефа местности внутри и вокруг планируемой зоны покрытия;
- от требуемой точности оценки покрытия;
- от максимальной оправданной трудоемкости измерения.

Для поиска реальных мест измерения на каждую испытательную зону налагается сетка из квадратов или треугольников со стороной 500 м (см. рисунок 4).

РИСУНОК 4

Точки измерения (фиксированный прием)



SM.1875-04

Иногда идеальные точки измерений будут недоступны вследствие наличия зданий, отсутствия дорог или в силу иных проблем. В этом случае должна быть выбрана ближайшая доступная точка измерений, предпочтительно на расстоянии не более 50 м вокруг идеальной точки измерений. По возможности реальные точки измерения не должны заслоняться зданиями, высота которых превышает 10 м. Если это практически невозможно (особенно в больших городах) и были проведены измерения более чем в 30 других местоположениях данной зоны, эта точка измерения может быть отброшена. Иначе следует искать наилучшее сочетание расстояния до идеальной точки измерений и свободного от препятствий приема. В результате эта точка измерения может остаться не охваченной, но это отражает реальную ситуацию, в которой также может оказаться пользователь.

A1.2 Необходимое измерительное оборудование

Для проверки прогнозов покрытия для фиксированного приема сигналов DVB-T/T2 необходимо следующее оборудование:

ТАБЛИЦА 6

Оборудование, необходимое для проверки фиксированного приема сигналов DVB-T/T2

	Тип оборудования	Требуемые функции, примечания
Общая установка	Измерительный автомобиль	Мачта с вращающейся антенной, которая может быть поднята на высоту 10 м над уровнем наземной системы определения местоположения (например, GPS)
Приемник	Анализатор спектра	Интерфейс передачи данных в компьютеры (например, ЛВС, IEEE488.2) Возможность измерения мощности в канале Детектор отсчетов Предпочтительная функция: среднеквадратический детектор
Антенна	Логопериодическая антенна или антенна типа Яги	Монтируемая на мачте измерительного автомобиля Должна быть предусмотрена возможность горизонтальной и вертикальной поляризации

		КПД антенны должен быть известен (калибровка)
Управление измерениями	Компьютерная программа	Сохранение данных трассировки, поступающих от анализатора спектра Сохранение результатов измерения мощности в канале Сохранение данных, поступающих от системы определения местоположения Предпочтительная функция: автоматически выполняемые регулирование анализатора и измерения

A1.3 Процедура измерения

A1.3.1 Полезные сигналы

Во всех точках измерения осуществляется измерение напряженности поля сигналов всех полезных передатчиков ОЧС, формирующих покрытие. Это выполняется с использованием направленной измерительной антенны, установленной на высоте 10 м над уровнем земли и развернутой в верном направлении полезного передатчика (в ОЧС – отдельно для каждого полезного передатчика). Поляризация измерительной антенны должна быть такой же, что и поляризация используемого передатчика. В ОЧС со смешанной поляризацией следует отдельно измерять напряженность поля для вертикальной и горизонтальной позиции. Используется больший результат.

Максимум напряженности поля полезного сигнала измеряется путем поворота направленной антенны на 360°. Должны быть отмечены истинное направление на полезный передатчик, в котором достигается наивысшая напряженность поля полезного сигнала, и направление измерения максимального значения напряженности поля полезного сигнала.

A1.3.2 Нежелательные сигналы

В случае значительных помех от мешающих передатчиков, работающих по совмещенному или соседнему каналу, также измеряется напряженность поля мешающего сигнала согласно процедуре, описанной выше. Если невозможно достичь разнесения сигналов полезного и мешающего передатчиков или если сигнал полезного передатчика слишком сильный, может потребоваться отключение этого передатчика на время измерений или использование подстановочного передатчика.

Если значительные мешающие сигналы принимаются от нескольких передатчиков, измеряться должен отдельно уровень мешающего сигнала для каждого максимума с использованием направленности измерительной антенны. Оценка результата должна выполняться отдельно для каждого сочетания полезного и нежелательного сигналов. Точка является охваченной, только если все комбинации проходят процедуру оценки.

Если имеется измерительный приемник DVB-T/T2, то помочь в определении передатчика, сигналы которого принимаются, могут данные идентификатора соты (cell-ID), при условии что этот передатчик не входит в состав той же ОЧС.

Сами измерения предпочтительно выполнять с помощью анализатора спектра, используя следующие установки:

- режим измерения: мощность канала;
- ширина полосы канала: 7 МГц или 8 МГц;
- ширина полосы по разрешению (RBW): 30 кГц или "авто" (не выше 100 кГц);
- детектор: среднеквадратический или детектор отсчетов;
- режим трассировки: ClearWrite, то есть чистая запись;
- время качания: 0,5...1 с;
- единица: дБ(мкВ) или дБм.

В рамках периода измерений, который должен составлять не менее 1 минуты, должны быть сделаны 60 измерений (отсчетов), и в качестве результата должно быть сохранено значение их медианы. Эта процедура в максимальной степени уменьшает влияние помех ЭМС.

В силу того что для DVB-T/T2 указаны разные значения минимальной напряженности поля для гауссовского, райсовского и рэлеевского каналов, канал приема должен определяться в каждом местоположении измерения. Это выполняется путем записи одной трассировки спектра сигнала с небольшой RBW и расчета стандартного отклонения σ_{sp} полученных значений спектральной плотности.

Это измерение выполняется со следующими установками анализатора спектра:

- интервал: 6,5 МГц (канал 7 МГц) или 7,6 МГц (каналы 8 МГц);
- RBW: 30 кГц;
- детектор: среднеквадратический (предпочтительно) или детектор отсчетов (если не имеется среднеквадратического детектора);
- режим трассировки: ClearWrite (если используется среднеквадратический детектор), среднее по 200 качаниям (если используется детектор отсчетов);
- время качания: 2 с (если используется среднеквадратический детектор), 10 мс (если используется детектор отсчетов);
- единица: дБ(мкВ) или дБм.

Большое время качания (или большое среднее время) необходимо для обеспечения того, чтобы результирующие спектральные уровни не подвергались воздействию модуляции сигнала.

Определение канала приема должно выполняться отдельно для каждого измерения напряженности поля.

В зависимости от измеренной напряженности поля полезного сигнала и канала приема расстояние до следующей точки измерения может изменяться согласно таблице 7.

ТАБЛИЦА 7

Расстояние между соседними точками измерения

Канал приема	Измеренная напряженность поля полезного сигнала (дБ)	Расстояние до следующей точки измерения (м)
Гауссовский или райсовский	$e \geq E_{med} + 10$	1 000
Гауссовский или райсовский	$e < E_{med} + 10$	500 (стандартное)
Рэлеевский	(любая)	250

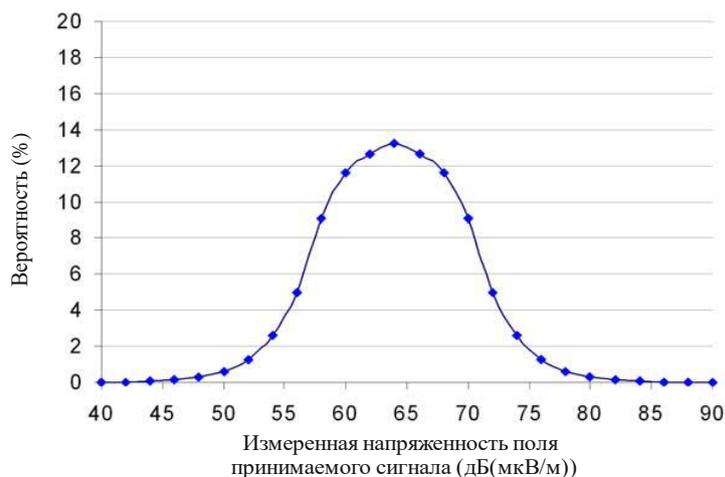
A1.4 Оценка результатов

A1.4.1 Проверка однородности распределения напряженности поля

Для проверки того, что напряженность поля в пределах зоны измерения является однородной и что было сделано достаточно замеров в зависимости от канала приема, целесообразно построить график статистического распределения измеренных значений напряженности поля, как показано на рисунке 5. График показывает процентную долю отсчетов измерения, имеющих определенное значение напряженности поля (по оси y) относительно этого значения (по оси x).

РИСУНОК 5

Полученное распределение напряженности поля (фиксированный прием)



SM.1875-05

На приведенном примере 13% всех измеренных значений напряженности поля принимаемого сигнала составляют 64 дБ(мкВ/м). Кривая относительно узкая и гауссовская. В этом случае можно предположить, что поле в пределах зоны измерения является относительно однородным. Если кривая плоская, широкая или не имеет сходства с гауссовским распределением, поле является неупорядоченным и нецелостным. В этом случае необходимо выполнить дальнейшие измерения, используя сетку с шагом 250 м.

Следует подчеркнуть, что требование к распределению напряженности поля, приведенное в настоящем разделе, может использоваться только для исследуемых областей, расположенных на достаточном удалении от передающей станции и при форме границы, близкой к квадрату или окружности; в других случаях это требование может не соблюдаться.

A1.4.2 Поправка на канал приема

Как указано в пункте 2.24, в международных соглашениях, таких как Соглашение GE06, для DVB-T указываются разные C/N и/или минимальные требуемые значения напряженности поля в зависимости от канала приема. Каналы приема идеализируются таким образом, что, например, рэлеевский канал, как предполагается, имеет стандартное отклонение σ_{sp} величиной 3 дБ. Обычно принимаются сигналы разных каналов приема. Для верного сочетания напряженности поля этих сигналов ко всем измеренным значениям добавляется поправочная величина (C_0) согласно пункту 2.29 и Прилагаемому документу 2 (σ_{sp} -поправка). Это нормирует все измеренные значения напряженности поля к σ_{sp} , равной 3 дБ. Далее результат только сверяется с указанными в международных соглашениях значениями C/N и/или минимальными медианными значениями напряженности поля для рэлеевских каналов.

A1.4.3 Поправка на вероятность времени действия мешающих сигналов

Если принимаются значительные помехи, считается, что значения напряженности поля мешающего сигнала, полученные по результатам измерений в случайное время, имеют вероятность по времени 50%. Для обеспечения того, что напряженность поля мешающего сигнала не будет существенно превышать – в силу условий распространения – измеренные значения, необходимо скорректировать измеренные значения для вероятности времени 99%. Требуемая поправка может быть определена с помощью Рекомендации МСЭ-R P.1546.

A1.4.4 Принятие решения о том, охвачена ли точка измерения

Оценка результатов измерений с σ_{sp} -поправкой должна проводиться отдельно для каждого местоположения измерения. Возможны следующие случаи, которые необходимо разделять:

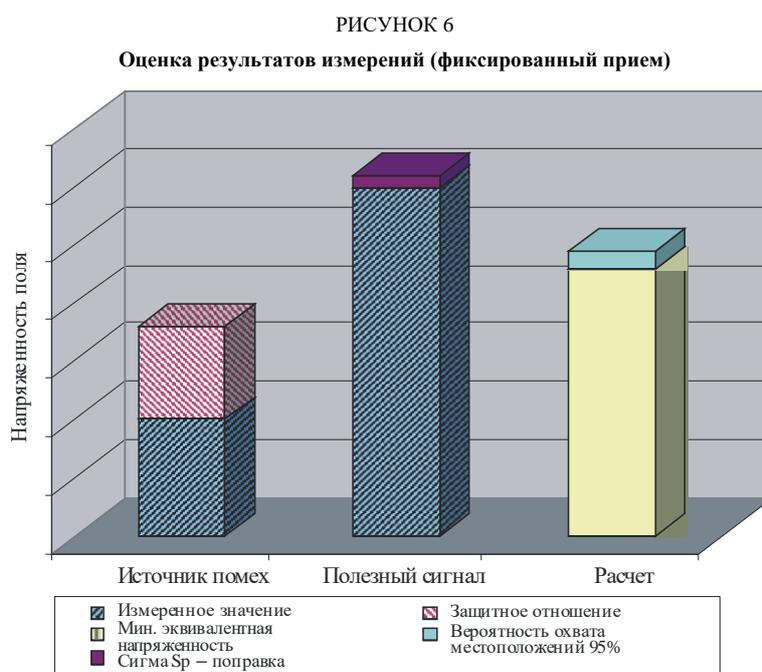
- а) максимум напряженности поля полезного сигнала, поступающего по направлению от полезного передатчика, и максимум нежелательного излучения, поступающего по направлению от мешающего передатчика;

- b) максимум напряженности поля полезного сигнала, поступающего по направлению от полезного передатчика, и максимум нежелательного излучения, поступающего в результате отраженного сигнала мешающего передатчика;
- c) максимум напряженности поля полезного сигнала, поступающего в результате отраженного сигнала полезного передатчика, и максимум нежелательного излучения, поступающего по направлению от мешающего передатчика;
- d) максимум напряженности поля полезного сигнала, поступающего в результате отраженного сигнала полезного передатчика, и максимум нежелательного излучения, поступающего в результате отраженного сигнала мешающего передатчика.

Для определения возможности успешного приема сигнала услуги с достаточным доверительным уровнем необходимо сравнить три следующих компонента:

- сумму измеренных значений напряженности поля мешающего сигнала и требуемое защитное отношение для данной услуги;
- измеренное значение напряженности поля полезного сигнала с учетом σ_{sp} -поправки;
- сумму минимальных значений напряженности поля полезного сигнала (E_{min}) и поправки на требуемую вероятность охвата местоположений согласно Прилагаемому документу 2 (C_1).

Эти компоненты представлены в виде блоков на рисунке 6.



SM.1875-06

Если блок полезного сигнала превышает по размерам два других блока, фиксированный прием возможен с вероятностью 95% для случаев а) и б), указанных выше. Если покрытие необходимо оценить с другим значением вероятности по времени, поправка в размере 50–95% должна быть заменена эквивалентным значением для требуемой вероятности.

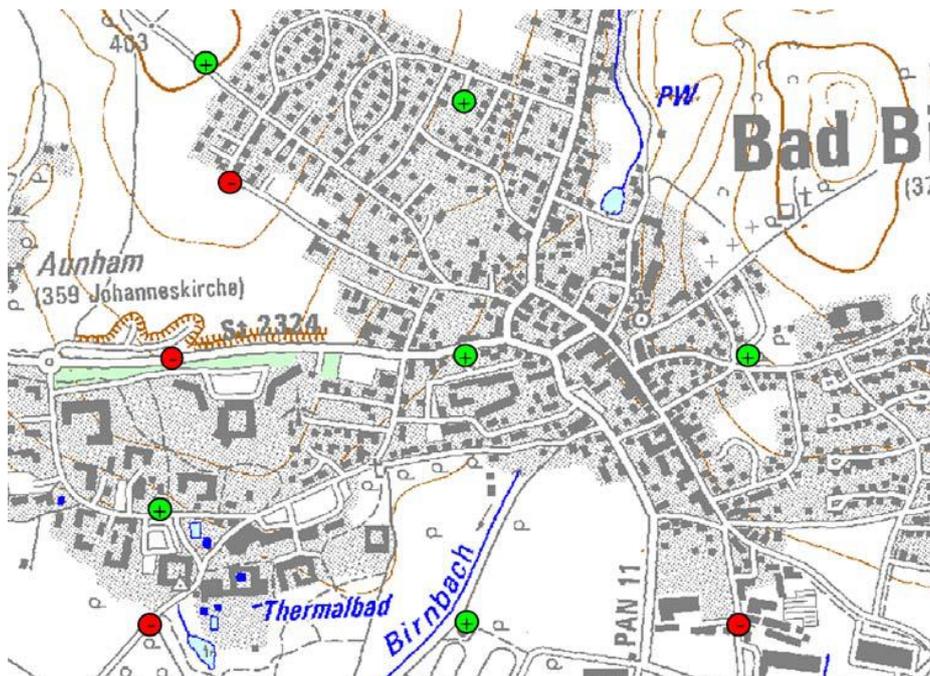
Для указанных выше случаев с) и д) успешный прием в течение всего времени не гарантируется. Следовательно, необходимо повторить измерения позднее и/или в (немного) других местоположениях измерения для увеличения доверительного уровня результата, или определить долговременную вероятность того, что данная точка является охваченной. Результаты каждого измерения в конкретном местоположении должны оцениваться отдельно. Если результат измерения используется для гарантии долговременного приема в любой момент времени, точки измерения для случаев с) и д) должны рассматриваться как неохваченные. В других случаях может быть зарегистрировано, что конкретные местоположения являются охваченными в конкретные периоды времени.

A1.5 Представление результатов

Очевидным способом представления результатов является вычерчивание их на карте аналогично рисунку 7. На этом рисунке местоположения измерений, в которых прием возможен, показаны зелеными (светлыми) точками, точки измерения, в которых прием невозможен, отмечены красными (темными) точками. Кроме того, на рисунке видно, что между некоторыми исходными местоположениями измерения вставлены дополнительные точки, которые примерно соответствуют сетке с шагом 250 м (см. также рисунок 4).

РИСУНОК 7

Результаты измерений (фиксированный прием)



SM.1875-07

Если выполнен достаточный объем измерений, можно также определить для данного местоположения вероятность, с которой возможен прием услуги в пределах зоны измерения. Для этого составляется график процентной доли измеренных значений с σ_{sp} -поправкой, которые превышают определенное значение напряженности поля, относительно этого значения напряженности поля. На рисунке 8 представлен пример.

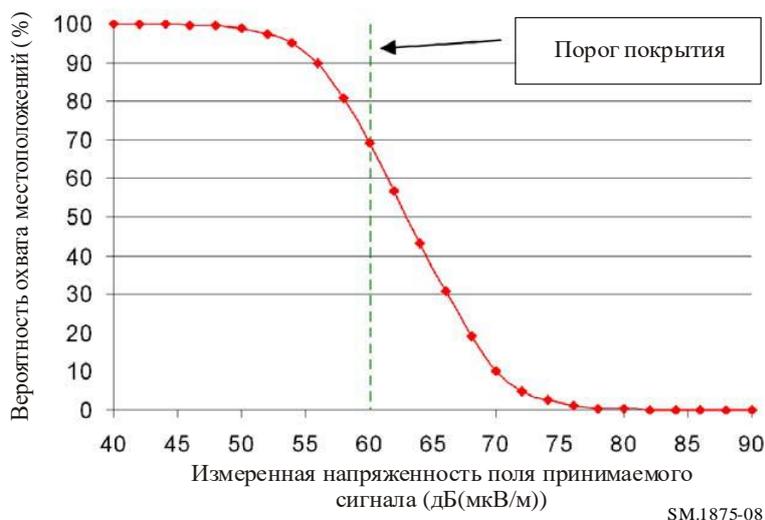
Порог покрытия является высшим значением:

- суммы измеренных значений напряженности поля мешающего сигнала плюс требуемого защитного отношения для данной услуги (блок "Источник помех" на рисунке 6);
- суммы минимальных значений напряженности поля полезного сигнала (E_{min}) и поправки на требуемую вероятность по местоположению (C_1) согласно Прилагаемому документу 2 (блок "Расчет" на рисунке 6).

На примере, представленном на рисунке 8, порог покрытия составляет 60 дБ(мкВ/м), и это значение достигается или превышает в 70% отсчетов измерения. Это значит, что прием будет возможен в 70% местоположений в пределах зоны измерения, или, иными словами, зона измерения является охваченной с вероятностью 70%.

РИСУНОК 8

Измеренная вероятность охвата местоположений (фиксированный прием)



SM.1875-08

A1.6 Проверка покрытия

Сравнение измеренного и планового покрытия выполняется следующим образом.

- 1 Рассчитать процент покрытия в соответствии с инструментами планирования A_p в каждой испытательной зоне.
- 2 Рассчитать процент небольших зон на исходной измерительной сетке (см. рисунок 4) каждой испытательной зоны, измеренной как покрытая (A_c = зеленые точки на рисунке 7 относительно общего количества небольших зон на измерительной сетке).
- 3 Сравнить A_p и A_c для каждой испытательной зоны. Если $A_c \geq A_p$, то соответствующая испытательная зона покрыта по крайней мере в той степени какая была предсказана при планировании.

Если количество испытательных зон считается достаточным, а их расположение – репрезентативным для той местности, в которой должно быть обеспечено покрытие, и в большинстве испытательных зон запланированный процент покрытия достигнут или превышен, то предполагается, что вся зона покрытия станции или сети DVB-T/T2 по крайней мере так же велика, как запланированная зона покрытия.

Прилагаемый документ 2

Проверка прогноза покрытия для приема на портативное оборудование

A2.1 Принцип измерения

Для точной проверки истинной зоны покрытия потребуется провести измерения практически во всех местоположениях в пределах этой зоны. Для обеспечения осуществимого объема измерений они проводятся только в определенном числе местоположений.

Прием на портативное оборудование определяется обычно на высоте 1,5 м над уровнем земли. Находясь так близко к земле, линия прямой видимости на передатчик, в которой доминирующим является прямой сигнал, будет существовать редко, в особенности в условиях города и его окрестностей. Большинство каналов приема будут рэлеевскими. Следовательно, необходимо

выполнить измерения подвижного приема, с тем чтобы собрать достаточный объем отсчетов измерения для получения статистически значимого результата.

Важно заметить, что к приему на портативные и подвижные средства применяются разные требования. В силу того что описанный в данном документе метод базируется только на значениях напряженности поля, возможно сделать заключение относительно приема на портативные средства, хотя реально проводятся измерения подвижного приема.

Для DVB-T соответствующие документы (например, Соглашение GE06) определяют только минимальные медианные напряженности поля на высоте 10 м над уровнем земли. Для расчета необходимой напряженности поля для приема на портативные средства на высоте 1,5 м должны быть внесены некоторые поправки. Они рассчитываются согласно Прилагаемому документу 5.

Пример:

В Соглашении GE06 определена минимальная эквивалентная напряженность поля (E_{min}), которая составляет 47,3 дБ(мкВ/м), для наружного приема на портативное оборудование при стандартном отклонении амплитудно-частотной характеристики $\sigma_{sp} = 3$ на ТВ-канале 24. Это значение однозначно для всех запасов и представляет наименьшую напряженность поля, необходимую для успешного приема. Для расчета необходимой напряженности поля для приема на портативное оборудование внутри помещений должны быть добавлены поправки для учета потерь при проникновении в здание и разной вероятности охвата местоположений внутри здания. В нашем примере для приема на портативное оборудование внутри помещений с вероятностью охвата местоположений 70% (см. Прилагаемый документ 5) должна быть добавлена величина 10,9 дБ, с тем чтобы минимальная медианная напряженность поля составляла 58,2 дБ(мкВ/м).

Для DVB-T2 в Отчете МСЭ-R BT.2254 также определена минимальная медианная напряженность поля (E_{med}) для наружного приема на портативные устройства (внутри и снаружи помещений) для одного примера варианта системы. Соответствующие цифры для других вариантов системы можно рассчитать путем замены значений C/I .

Измерения выполняются при движении на автомобиле по большинству дорог в пределах зоны измерения, которая представляет деревню или город, по наружной части (или границе) прогнозируемой зоны покрытия. Результаты могут напрямую сравниваться с расчетной минимальной медианной напряженностью поля для приема на портативное оборудование.

A2.2 Необходимое измерительное оборудование

Для проверки прогнозов покрытия для приема DVB-T/T2 на портативное оборудование необходимо следующее оборудование:

ТАБЛИЦА 8

Оборудование, необходимое для проверки приема DVB-T/T2 на портативное оборудование

	Тип оборудования	Требуемые функции, примечания
Общая установка	Измерительный автомобиль	Несколько антенн могут быть установлены на крыше на высоте около 1,5 м над уровнем наземной системы определения местоположения (например, GPS)
Приемник (стандарт)	Анализатор спектра	Интерфейс передачи данных в компьютеры (например, ЛВС, IEEE488.2) Режим измерения мощности в канале Детектор отсчетов Предпочтительная функция: среднеквадратический детектор

ТАБЛИЦА 8 (окончание)

	Тип оборудования	Требуемые функции, примечания
Приемник (необязательный) ⁽¹⁾	Широкополосный приемник/анализатор БПФ	Минимальная ширина полосы снятия измерений: 10 МГц Интерфейс передачи данных в компьютеры (например, ЛВС, IEEE488.2) Режим измерения мощности в канале
Антенна	2 ненаправленные антенны ⁽²⁾	Монтируемая на крыше измерительного автомобиля Одна антенна с горизонтальной и одна антенна с вертикальной поляризацией КПД антенны должен быть известен (калибровка)
Антенный переключатель ⁽²⁾	РЧ-переключатель с компьютерным управлением	Скорость переключения: $\geq 40/с$
Управление измерениями	Компьютерная программа	Автоматически выполняемые регулирование анализатора, позиции антенного переключателя, измерения и отображение результатов на экране в реальном времени Сохранение данных трассировки, поступающих от анализатора спектра Сохранение результатов измерения мощности в канале Сохранение данных, поступающих от системы определения местоположения Отображение в реальном времени фактического стандартного отклонения σ спектральных уровней на цифровой карте

(1) Поскольку широкополосный приемник/анализатор БПФ осуществляет снятие измерений по всей ширине полосы сигнала сразу, это позволяет выполнять быстрые измерения, дающие более точные результаты, особенно при определении канала приема (см. пункт 2.24).

(2) Для измерений в сетях только с одним передатчиком (МЧС) или в ОЧС только с одной поляризацией требуется только одна ненаправленная антенна и не требуется антенный переключатель.

Установка для проведения измерений в ОЧС с обеими поляризациями показана на рисунке 9.

РИСУНОК 9

Измерительная установка (прием на портативное оборудование в сетях ОЧС)



А2.3 Процедура измерения

Измерения выполняются при движении на автотранспорте по основным дорогам в пределах зоны измерения, которая представляет деревню или город, по границе прогнозируемой зоны покрытия.

Измерения инициируются каждую секунду (примерное время представления системой определения местоположения GPS новых/других координат). Затем в течение 500 мс выполняются 10 отсчетов уровня принимаемого сигнала, которые конвертируются в значения напряженности поля в соответствии с КПД измерительной антенны, и медианы 10 отсчетов сохраняются вместе с географическими координатами.

Для измерений должны использоваться следующие установки анализатора спектра:

- режим измерения: мощность канала;
- ширина полосы канала: 7 МГц или 8 МГц;
- ширина полосы по разрешению (RBW): 30 кГц или "авто" (не выше 100 кГц);
- детектор: среднеквадратический (если имеется) или детектор отсчетов;
- режим трассировки: ClearWrite, то есть чистая запись;
- время качания: 20...25 мс.

Если используется широкополосный приемник или анализатор БПФ, выполняются следующие установки:

- ширина полосы снятия измерений: ≥ 7 МГц или ≥ 8 МГц (ширина полосы канала);
- время снятия измерений: 1 мс;
- режим измерений: мощность канала.

В частности, если измерения подвижного приема выполняются в городских зонах и только на высоте 1,5 м над уровнем земли, канал приема будет, как правило, рэлеевским с быстрыми и значительными изменениями условий приема. Несмотря на то что непрерывная запись при измерении подвижного приема дает большое количество измеренных значений, число отсчетов может оказаться недостаточным для принятия решения о покрытии с достаточным уровнем уверенности. Для получения информации о распределении напряженности поля в зоне измерения необходимо определить канал приема. Это должно выполняться в каждом цикле измерения, то есть каждую секунду, непосредственно после измерения напряженности поля.

Канал приема определяется путем регистрации среднего спектра за период не менее 200 мс относительно уровня при отсутствии воздействия модуляции DVB.

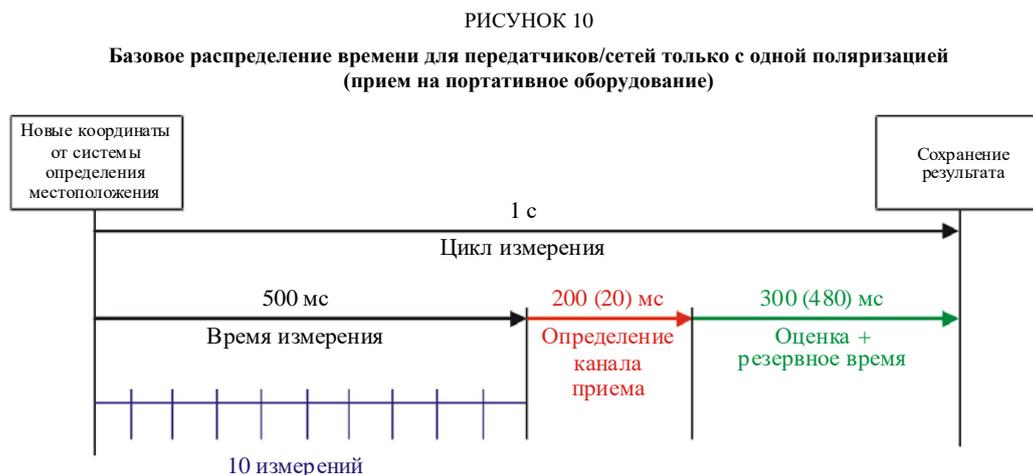
Если измерения проводятся с использованием анализатора спектра с качанием, должны быть выполнены следующие установки:

- интервал: 6,5 МГц (каналы 7 МГц) или 7,6 МГц (каналы 8 МГц);
- RBW: ≤ 30 кГц;
- детектор: среднеквадратический (предпочтительно) или детектор отсчетов (если не имеется среднеквадратического детектора);
- режим трассировки: ClearWrite (если используется среднеквадратический детектор), среднее по 20 качаниям (если используется детектор отсчетов);
- время качания: 200 мс (если используется среднеквадратический детектор), 10 мс (если используется детектор отсчетов);
- единица: дБ(мкВ) или дБм.

Особенно при измерении подвижного приема с быстро меняющимися условиями приема важно, чтобы определение канала приема происходило как можно ближе к измерению напряженности поля. Широкополосный приемник/анализатор БПФ может сразу зарегистрировать полный спектр DVB-T/T2, в результате чего требуется значительно меньшее время измерения, и в силу этого рекомендуется его использование. При этом должны использоваться следующие установки:

- ширина полосы снятия измерений: ≥ 7 МГц или ≥ 8 МГц (ширина полосы канала);
- используемый интервал: 6,5 МГц (каналы 7 МГц) или 7,6 МГц (каналы 8 МГц);
- RBW: ≤ 30 кГц;
- время снятия измерений: 20 мс.

Для каждого полученного в результате измерений спектра рассчитывается стандартное отклонение амплитудно-частотных характеристик σ_{sp} и сохраняется вместе со значением уровня мощности в канале и географическими координатами. На рисунке 10 показано базовое распределение времени для одного цикла измерений.



SM.1875-10

В ОЧС со смешанной поляризацией измерения должны проводиться одновременно в обеих плоскостях поляризации. Это требует 20 отсчетов измерения в течение 500 мс времени измерения. Поляризация антенны переключается с вертикальной на горизонтальную после каждого отсчета. Это необходимо для получения медианных значений напряженности поля для обеих поляризаций в том же местоположении. На рисунке 11 показано необходимое распределение времени (только для измерения напряженности поля).



SM.1875-11

В ОЧС со смешанной поляризацией каналы приема также должны измеряться в каждой из обеих плоскостей. Если используется анализатор спектра с качением, то остается только 100 мс резервного времени и времени обработки, а если используется широкополосный приемник/анализатор БПФ, остается 460 мс.

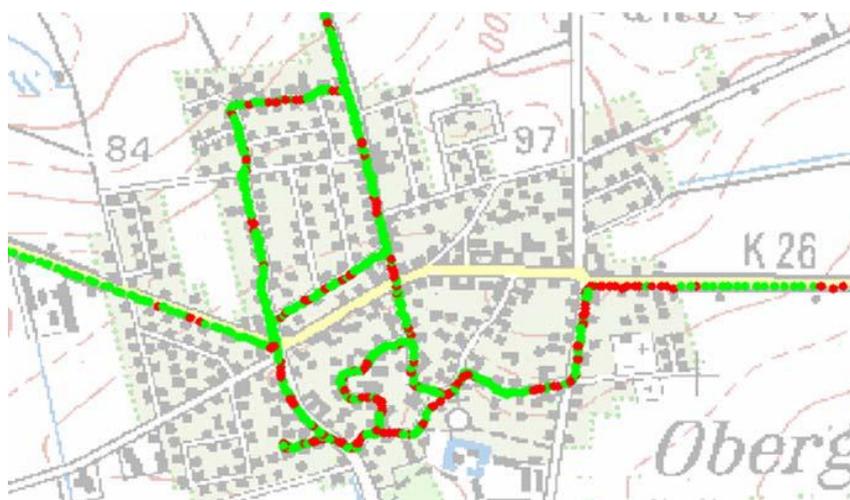
Эквивалентная напряженность поля рассчитывается по десяти отсчетам в каждой плоскости поляризации отдельно. К каждой из двух медиан применяется σ_{sp} -поправка в соответствии с определением канала приема. В качестве результата сохраняется наибольшее из этих двух значений.

A2.4 Оценка результатов

Оценка результатов измерения в реальном времени возможна при отображении текущего значения σ_{sp} на цифровой карте в ходе измерений: если в определенном регионе значение σ_{sp} часто превышает 3 дБ, это указывает на доминирование рэлеевских каналов приема. В этом случае требуется большее число измерений, что можно сделать, перемещаясь дальше по боковым дорогам вдоль трассы. Пример такого отображения в реальном времени представлен на рисунке 12, где зелеными (светлыми) точками отмечены райсовские каналы, а красными (темными) точками – рэлеевские каналы.

РИСУНОК 12

Отображение в реальном времени канала приема в процессе измерений



SM.1875-12

Для определения того, возможен ли прием на портативное оборудование в пределах зоны измерения, необходимо сравнить все измеренные значения напряженности поля с минимальной медианной напряженностью поля для приема на портативное оборудование, рассчитанной по соответствующим соглашениям (например, по Соглашению GE06). При применении поправок к результатам измерений следует тщательно обеспечивать соответствие требуемым условиям приема.

- Для случая наружного приема на портативное оборудование должна применяться только σ_{sp} -поправка. Других поправок в отношении вероятности охвата местоположений не требуется, поскольку измерения проводились в надлежащих условиях приема и было сделано достаточное количество отсчетов. Вероятность охвата местоположений может быть выведена напрямую на основе результатов измерений (см. пункт A2.5).
- Для случая внутреннего приема на портативное оборудование должна применяться дополнительная коррекция на потери при проникновении в здание и иную вероятность охвата местоположений в соответствии с Прилагаемым документом 4.
- По результатам таких измерений покрытия для подвижного приема фиксированный прием рассчитать невозможно. Для этого следует применять процедуру, описанную в пункте A.1.

A2.5 Представление результатов

Прямой способ отображения условий покрытия заключается в графическом представлении результатов описанного выше сравнения на карте разными цветами (см. рисунок 13): зеленые (светлые) точки показывают измеренные значения плюс дополнительные запасы, превышающие минимальную медианную напряженность поля (прием возможен), для ситуации наружного приема на

портативное оборудование, синим (темным) цветом обозначаются точки, в которых возможен внутренний прием на портативное оборудование.

РИСУНОК 13

Результаты измерений (прием на портативное оборудование)



SM.1875-13

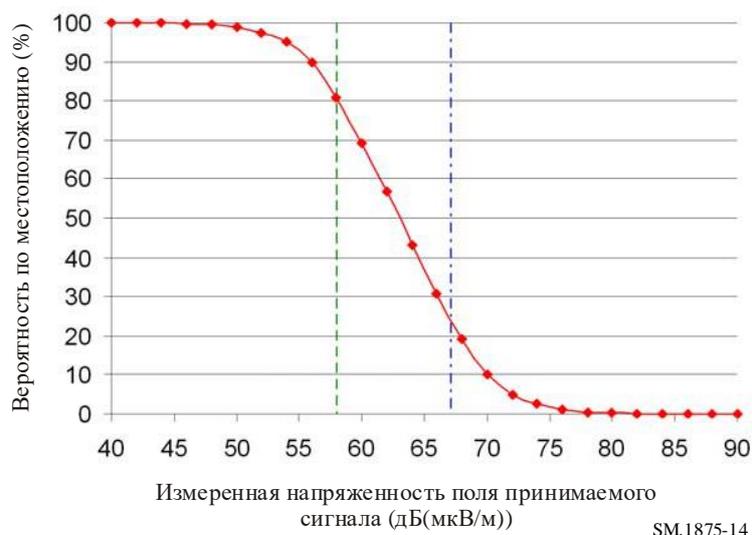
Если в ходе измерения отображение канала приема в реальном времени невозможно, он может быть определен позже исходя из того, является ли однородным распределение напряженности поля в зоне измерений. Это выполняется путем графического представления распределения результатов измерения с σ_{sp} -поправкой аналогично рисунку 5. Если кривые являются гауссовскими и относительно узкими, как в примере, распределение напряженности поля достаточно однородно. Если нет, необходимо большее число измерений, что можно сделать, перемещаясь по большему числу разных дорог в пределах зоны измерения.

Недостаток описанного в данном документе метода заключается в том, что заключение не может быть сделано в реальном времени и могут потребоваться повторные измерения. А вот отображение канала приема в реальном времени показывает этот результат уже в ходе измерений, когда возможна немедленная реакция.

На основании результатов измерения с σ_{sp} -поправкой можно сделать заключение относительно вероятности приема на портативное оборудование в пределах зоны измерения. Это выполняется путем построения графика процентной доли измеренных значений с σ_{sp} -поправкой, превышающих определенное значение напряженности поля, относительно этого значения напряженности поля. Пример представлен на рисунке 14.

РИСУНОК 14

Измеренная вероятность охвата местоположений (прием на портативное оборудование)



В этом примере рассчитанная минимальная медианная напряженность поля для наружного приема на портативное оборудование составляет 58 дБ(мкВ/м) (зеленая штриховая линия), а для внутреннего приема на портативное оборудование – 67 дБ(мкВ/м) (синяя штрихпунктирная линия). Измерения показывают, что наружный прием на портативное оборудование возможен не менее чем в 80% зоны измерения, а внутренний прием на портативное оборудование возможен по крайней мере в 25% зоны измерения.

Прилагаемый документ 3

Упрощенный метод определения границы покрытия передатчиков и сетей DVB-T/T2

А3.1 Введение

Метод, рассматриваемый в настоящем Прилагаемом документе, описывает процедуру определения зоны покрытия станции DVB-T/T2 для фиксированного приема на основе измерения напряженности поля в выбранных направлениях от передатчика. Этот метод можно рассматривать как упрощенный, поскольку для него требуется меньшее количество измерений, чем для метода, описанного в Прилагаемом документе 1, особенно при следующих условиях:

- сеть DVB-T/T2 представляет собой МЧС;
- априорно известна прогнозируемая зона покрытия;
- передатчик (передатчики) снабжен (снабжены) ненаправленными антеннами;
- в зоне покрытия относительно ровный рельеф местности (отсутствуют холмы, образующие большие зоны затенения).

Преимущество невысокой трудоемкости измерения особенно заметно тогда, когда доступны данные прогнозов покрытия. Однако в принципе этот метод применим и без знания априорной информации о планируемой зоне покрытия.

А3.2 Измеренные параметры сигнала

При определении зоны обслуживания передающей станции наземного цифрового радиовещания стандарта DVB-T/T2 для фиксированного приема в месте приема осуществляется измерение следующих параметров сигнала:

- напряженность электромагнитного поля;
- стандартное отклонение амплитудно-частотных характеристик (σ_{sp}) сигнала DVB-T/T2.

А3.3 Требования к оборудованию

Измерения проводятся с использованием мобильной или переносной измерительной системы, которая включает следующее оборудование:

- антенная мачта высотой 10 м;
- антенный штатив не ниже 1,5 м;
- направленная приемная антенна;
- калиброванный антенный кабель;
- измерительный приемник/анализатор;
- навигационный приемник;
- компьютер.

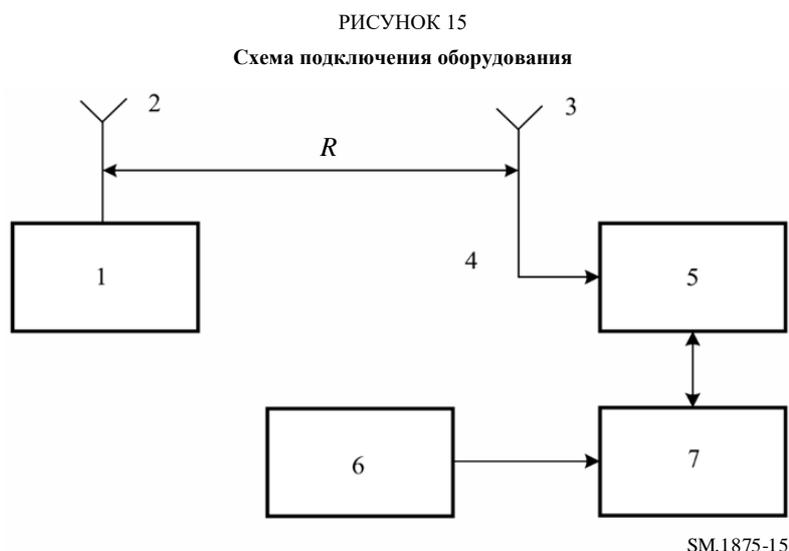
Характеристики оборудования приведены в таблице 9.

ТАБЛИЦА 9
Характеристики оборудования

Оборудование	Характеристики
Измерительные устройства	Возможность анализа спектра Измерение мощности канала Функции "эхоструктуры" Интерфейс передачи данных в компьютер
Направленная приемная антенна	Поляризация: линейная [2]. Усиление антенны, не менее*) [3]: 200 МГц: 7 дБд; 500 МГц: 10 дБд; 800 МГц: 12 дБд
Калиброванный антенный кабель	Максимальные потери в фидере*): 200 МГц: 2 дБ; 500 МГц: 3 дБ; 800 МГц: 5 дБ

*) Эти значения взяты из Рекомендации МСЭ-R ВТ.1368 и отражают значения, принятые в инструментах планирования.

Схема подключения оборудования приведена на рисунке 15.



- 1 – передатчик DVB-T/T2; 2 – передающая антенна;
3 – направленная приемная антенна; 4 – калиброванный антенный кабель;
5 – измерительный приемник; 6 – навигационный приемник; 7 – компьютер.

А3.4 Планирование измерений

Сначала для определения границ покрытия для выбранной станции DVB-T/T2 используется модель распространения радиоволн (например, из Рекомендации МСЭ-R P.1546 или МСЭ-R P.1812).

Затем для проведения измерений выбирается ряд радиальных направлений от станции DVB-T/DVB-T2 с учетом наличия дорог и автомагистралей. Радиальных направлений должно быть не меньше четырех, чтобы построить кривую границы измеренной зоны покрытия на цифровой карте.

Для каждого радиального направления определяется местоположение небольших зон (размером приблизительно 100 м × 100 м).

Местоположение первой небольшой зоны должно соответствовать следующим требованиям:

- она должна находиться в пределах прямой видимости станции DVB-T/T2;
- она должна находиться в пределах основного вертикального лепестка диаграммы направленности передающей антенны.

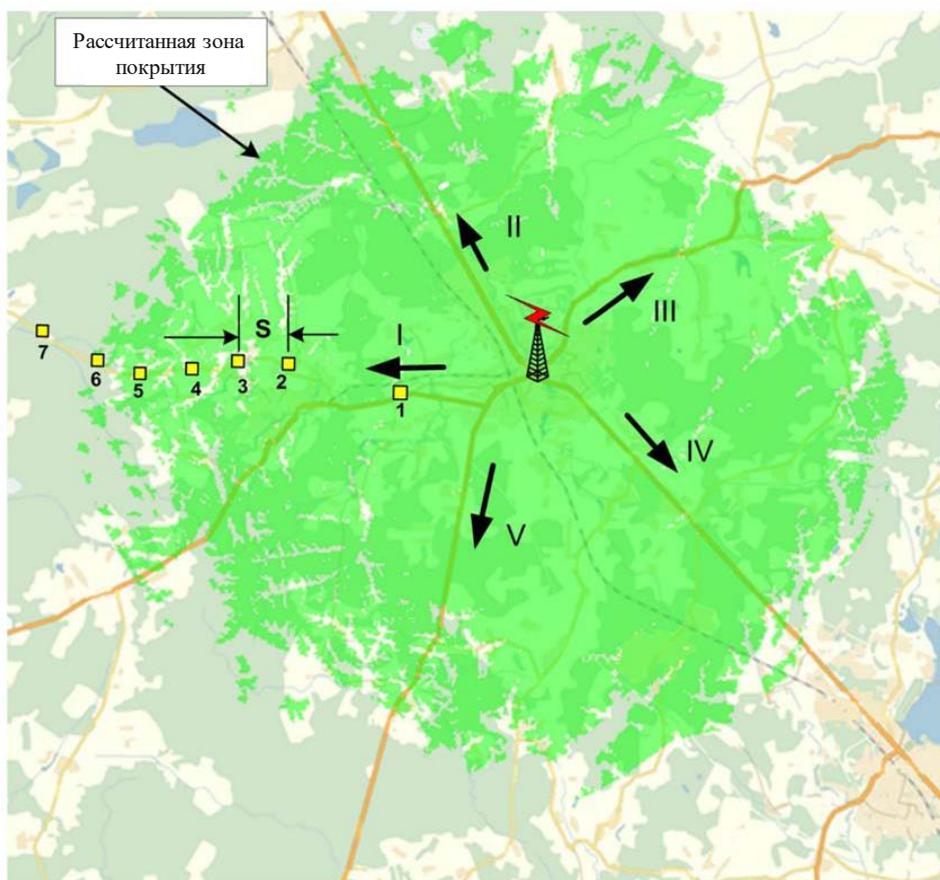
Другие небольшие зоны располагаются ближе к расчетной границе покрытия приблизительно на равном расстоянии S . Желательно выбирать небольшие зоны внутри или вблизи населенных пунктов. Если населенные пункты расположены на вершинах холмов и в низинах, то и измерения следует проводить на вершинах холмов и в низинах.

Небольших зон должно быть не менее семи (рисунок 16). При меньшем количестве таких зон точность определения границы покрытия снижается.

При необходимости местоположение небольших зон подтверждается спутниковыми изображениями (например, Google Earth) или их предварительным посещением. В каждой небольшой зоне планируются как минимум три точки измерения ($N \geq 3$). Одна точка измерения должна находиться в центре такой зоны.

РИСУНОК 16

Пример планирования измерений



SM.1875-16

А3.5 Процедура измерения

В каждом месте приема должны измеряться следующие параметры:

- напряженность электрического поля;
- стандартное отклонение σ_{sp} амплитудно-частотных характеристик сигнала DVB-T/T2.

В сельских районах приемная антенна устанавливается на высоте 10 м. Если нельзя найти место измерения без препятствий в направлении передатчика, как, например, во многих городских районах с высотой крыш более 10 м, то измерение проводится на крышах зданий с приемной антенной, установленной на штативе.

Антенна ориентирована в направлении максимальной принимаемой напряженности поля. Место измерения считается подходящим, если этот максимум получен с направления соответствующей станции DVB-T/T2, а внешние помехи от электрического или электронного оборудования отсутствуют.

На отсутствие внешних помех могут указывать следующие условия:

- в спектре нет видимых узкополосных или CW-несущих, превышающих уровень полезного сигнала DVB-T/T2;
- уровень шума между требуемым и соседними каналами DVB-T/T2 ("промежутки" в спектре) менее чем на 3 дБ выше уровня шума приемника (измеренного при отсоединенной антенне).

В остальных случаях следует использовать альтернативное место измерения внутри небольшой зоны.

Измерения проводятся при следующих настройках измерительного приемника (режим "анализатор спектра"):

- центральная частота (FREQ): равна номинальной центральной частоте ТВ-канала;
- ширина полосы канала (интервал): 8–10 МГц;
- ширина полосы по разрешению (RBW): 30 кГц;
- полоса пропускания видеофильтра (VBW): от 100 до 300 кГц ($VBW \geq 3 RBW$);
- время качания: 2 с;
- детектор: среднеквадратический (RMS);
- режим трассировки: Clear/Write.

За время измерения не менее 1 мин. необходимо выполнить 30 измерений напряженности поля и 30 измерений стандартного отклонения амплитудно-частотных характеристик σ_{sp} . Значения σ_{sp} рассчитываются в соответствии с Прилагаемым документом 5. Таким образом, для определения медианной (по времени) напряженности поля (E_{med}^{loc}) в каждом месте приема используются 30 измерений напряженности поля, включая σ_{sp} -поправку.

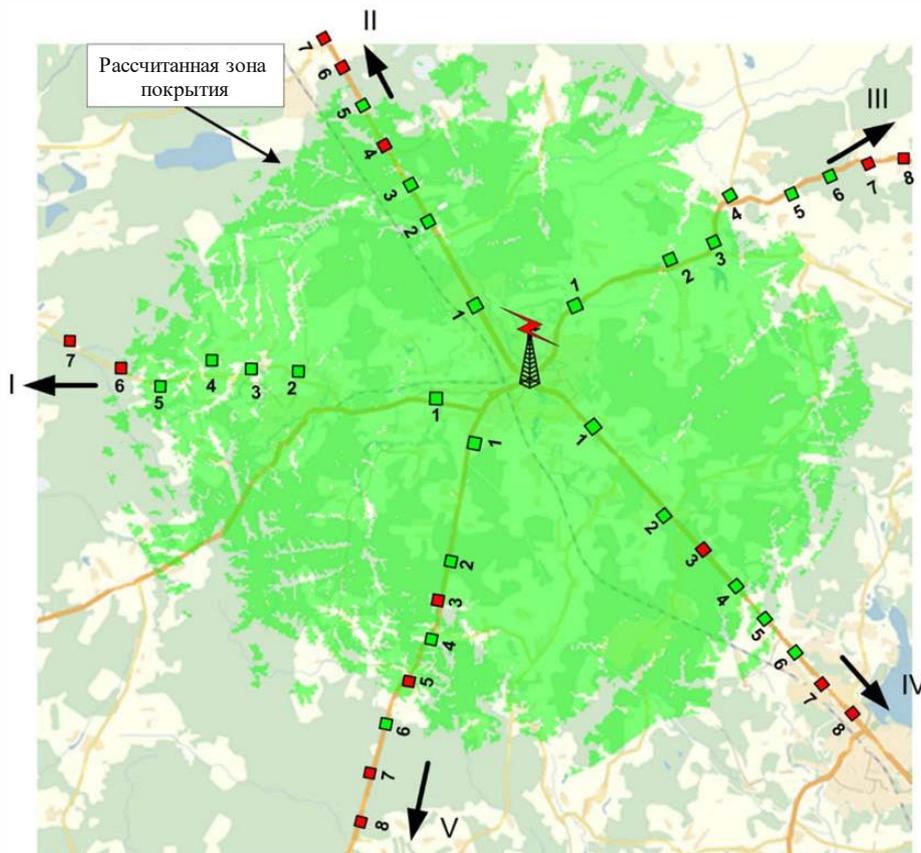
Значения σ_{sp} рассчитываются при каждом измерении напряженности поля. Это делается в целях устранения быстрого замирания, которое может повлиять на форму спектра сигнала.

Если результирующая напряженность поля (E_{med}^{loc}) ниже требуемого минимального значения, необходимо выполнить измерения в дополнительных запланированных местах в пределах небольшой зоны. Для каждой небольшой зоны рассчитывается медианная напряженность поля $E_{med}^{small_area}$.

Небольшая зона считается "покрытой", если значение $E_{med}^{small_area}$ превышает требуемое значение минимальной медианной эквивалентной напряженности поля E_{med} . В этом случае небольшая зона выделяется зеленым цветом, в противном случае – красным. Как правило, если две или три соседние небольшие зоны удовлетворяют условию $E_{med}^{small_area} < E_{med}$, то измерения в этом радиальном направлении можно считать завершенными (рисунок 17).

РИСУНОК 17

Пример результатов измерений в небольших зонах



SM.1875-17

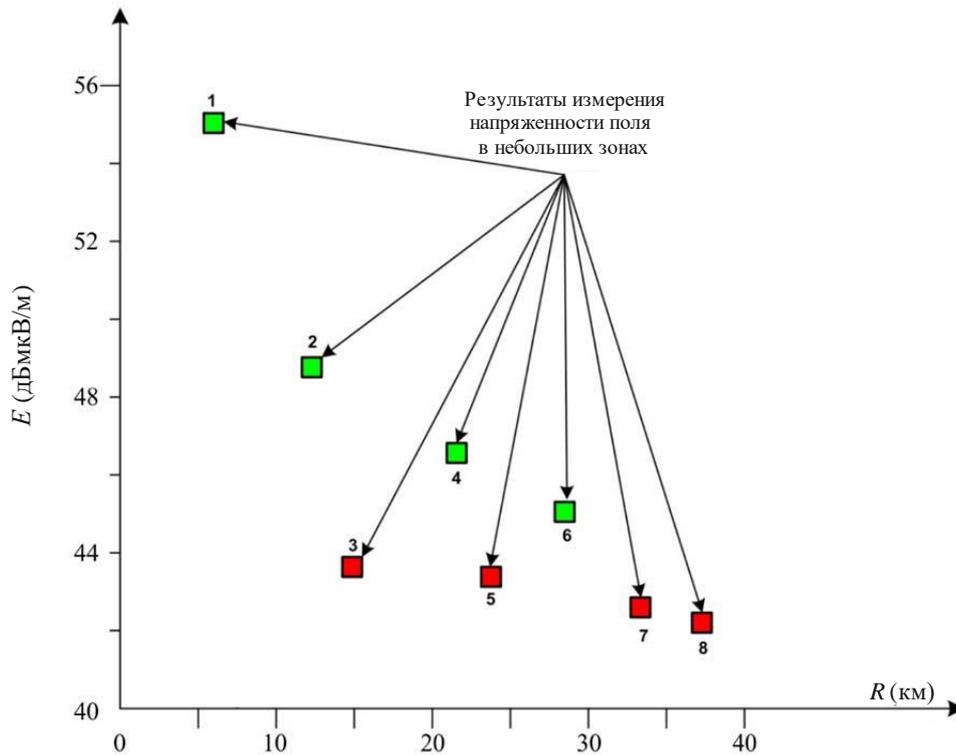
А3.6 Обработка результатов измерения

Для каждого радиального направления выполняются следующие шаги:

- определяется конечный азимут радиального направления как среднее арифметическое значение азимутов небольших зон в этом направлении;
- на диаграмме отображаются медианные значения напряженности поля в небольших зонах в зависимости от расстояния до передатчика $E_{\text{med}}^{\text{small_area}}(R)$, как показано на рисунке 18.

РИСУНОК 18

Пример полученных результатов измерения в одном радиальном направлении



SM.1875-18

- 1) Кривая, аппроксимирующая полученные значения напряженности поля, определяется следующим образом:

$$E(d_i) = E(d_1) - 10 \cdot n \cdot \log_{10}(d_i/d_1), \quad (1)$$

где $E(d_1)$ и $E(d_i)$ – значения напряженности поля (в дБмкВ/м) на расстояниях d_1 и d_i .

Значение n в приведенном выше уравнении определяется методом наименьших квадратов погрешности аппроксимации (LSA):

$$n = \frac{\sum_i [E(d_1) - E(d_i)] \times 10 \log \frac{d_i}{d_1}}{\sum_i \left[10 \log \frac{d_i}{d_1} \right]^2}. \quad (2)$$

Для свободного пространства значение n равно 2. При наличии препятствий значение n увеличивается и обычно составляет от 2 до 5;

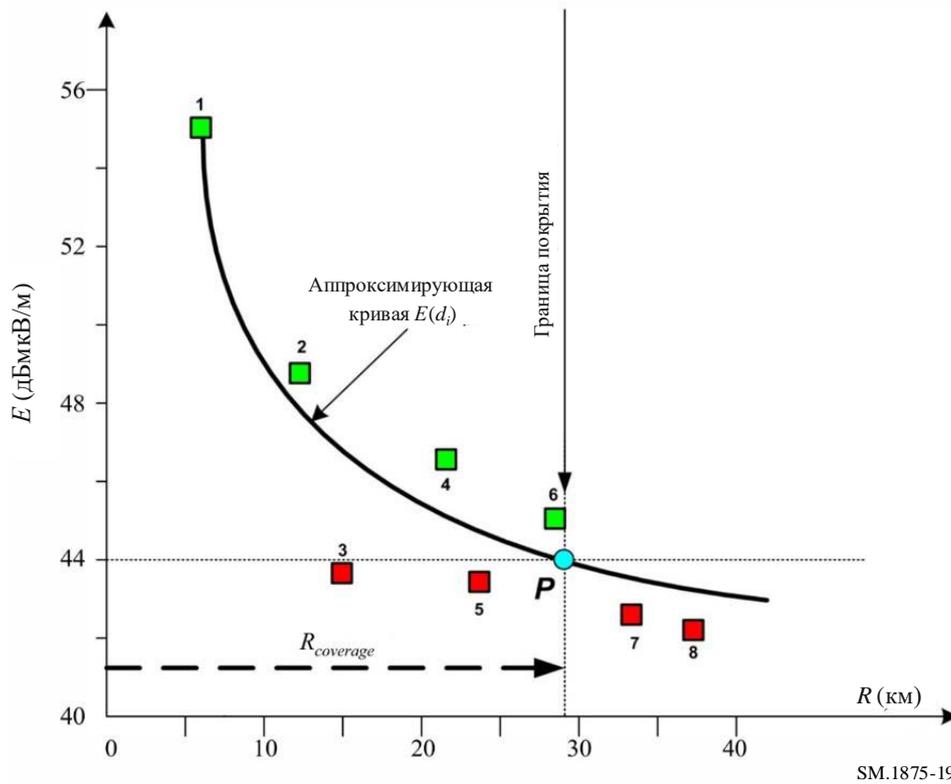
- 2) пересечение горизонтальной линии, соответствующей минимальной медианной напряженности поля, с аппроксимирующей кривой определяет расчетное местоположение границы покрытия в этом направлении (см. рисунок 19):

$$R_{Coverage} = d_1 \times 10^{\frac{E(d_1) - E_{med}}{10n}}; \quad (4)$$

- 3) шаги 1–4 выполняются для всех остальных радиальных направлений измерения.

РИСУНОК 19

Пример обработки результатов измерения в одном радиальном направлении

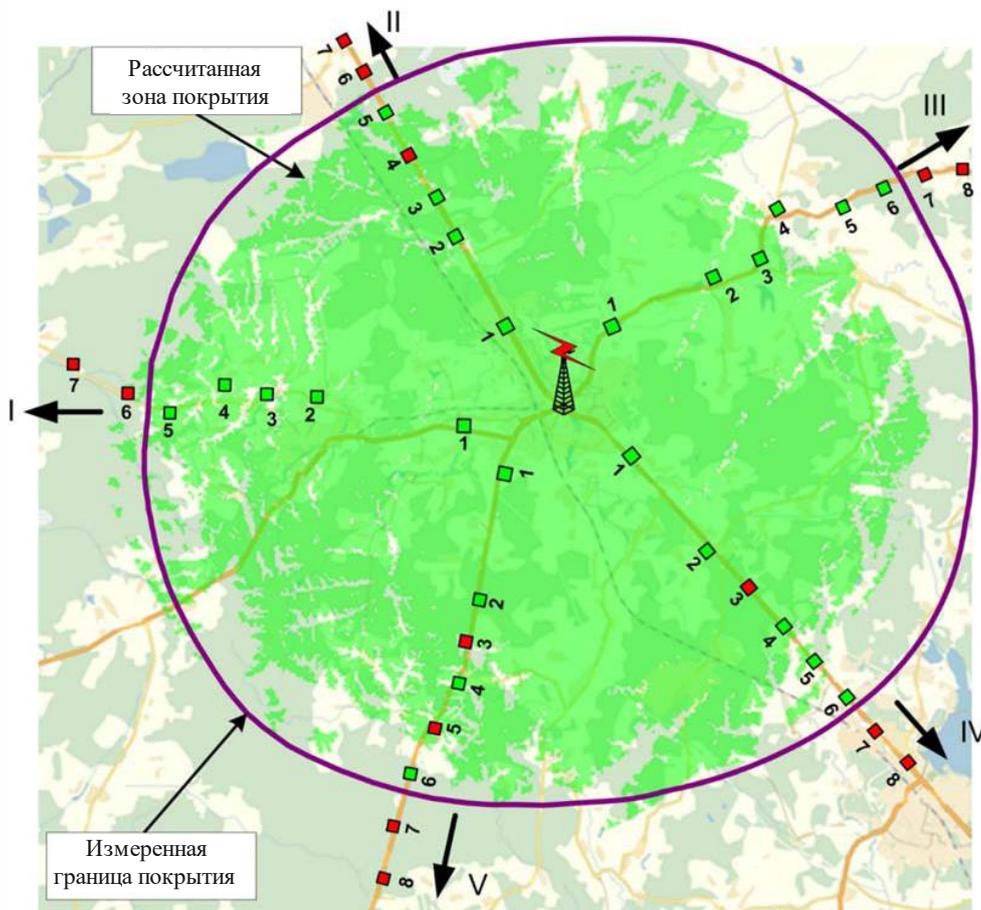


SM.1875-19

Наконец, радиальные точки границы покрытия, определенные выше, соединяются гладкой кривой, повторяющей форму расчетной границы покрытия. Результирующая измеренная граница покрытия наносится на карту (см. рисунок 20). Как в примере на рисунке 20, измеренная граница покрытия может не совпадать с расчетной границей покрытия во всех направлениях.

РИСУНОК 20

Пример отображения измеренной границы покрытия



SM.1875-20

А3.7 Измерения в ОЧС

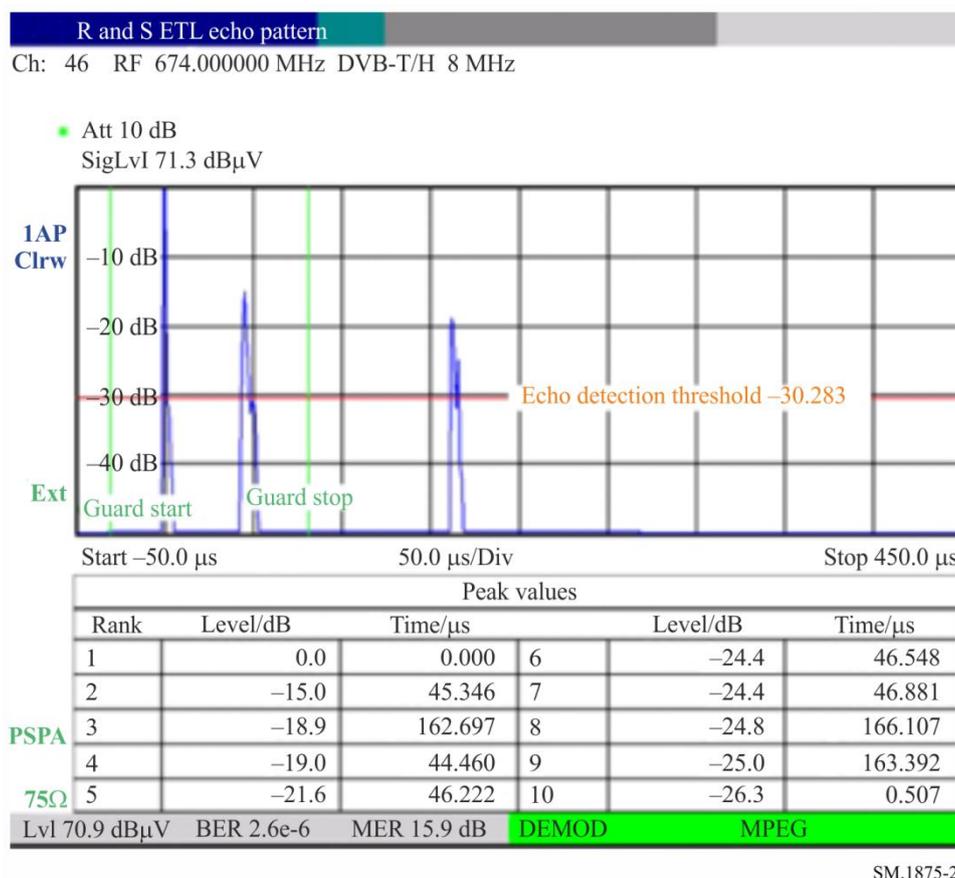
В ОЧС граница покрытия определяется как совокупность границ всех станций DVB-T/T2, образующих эту одночастотную сеть.

По методу, описанному в настоящем Прилагаемом документе в применении к ОЧС, граница каждого из передатчиков ОЧС измеряется отдельно.

Для того чтобы каждое место измерения было надежным, уровень сигнала испытываемой станции должен более чем на 10 дБ превышать уровни сигналов других станций той же ОЧС. Это можно проверить с помощью измерения экоструктуры, как показано на рисунке 21. В приведенном примере экосигналы от других передатчиков подавляются на 15 и 18 дБ, что считается достаточным для подходящего места измерения.

РИСУНОК 21

Снимок экрана измерительного приемника (функция "эхоструктура")



При необходимости можно использовать антенну с более узкой диаграммой направленности.

Прилагаемый документ 4

Метод измерения покрытия службы DVB-T/T2 для фиксированного приема в определенных областях

A4.1 Введение

Метод, описанный в настоящем Прилагаемом документе, определяет процедуру измерения зоны покрытия передатчика или сети DVB-T/T2 для проверки соответствия прогнозам покрытия, используемым в процессе планирования, или для оценки условий приема в местах, в которых, по сообщениям, создаются помехи. В этом случае метод предоставляет инструмент для определения зоны обслуживания, поскольку также измеряются параметры качества обслуживания.

A4.2 Требования к оборудованию

Измерения проводятся с использованием мобильной или переносной измерительной системы, которая включает следующее оборудование:

- антенная мачта высотой 10 м;
- антенный штатив не ниже 1,5 м;

- направленная приемная антенна;
- калиброванный антенный кабель;
- измерительный приемник/анализатор;
- навигационный приемник;
- компьютер.

Характеристики оборудования приведены в таблице 10.

ТАБЛИЦА 10
Характеристика оборудования

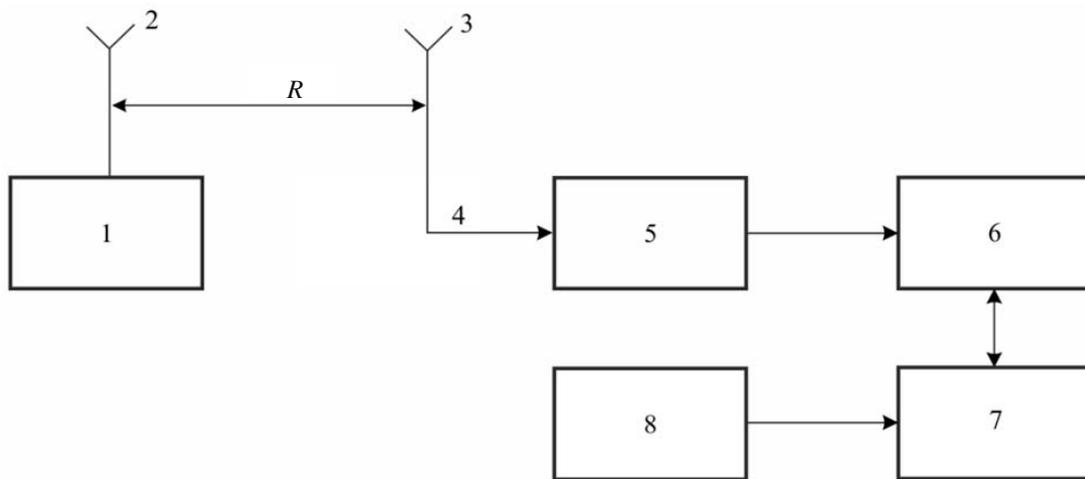
Оборудование	Характеристики
Измерительный приемник	Функция анализатора спектра Измерение мощности канала Измерение VBER для DVB-T Измерение LBER для DVB-T2 Функция "эхоструктура" Интерфейс передачи данных в компьютер
Малозумящий усилитель	Минимальный диапазон частот 174–862 МГц Усиление и коэффициент шума подходят для обеспечения общего коэффициента шума не более 6–7 дБ
Направленная приемная антенна	Поляризация: вертикальная или горизонтальная в зависимости от передатчика Усиление антенны, не менее*): 200 МГц: 7 дБд; 500 МГц: 10 дБд; 800 МГц: 12 дБд
Калиброванный антенный кабель	Потери в фидере*) 200 МГц: 2 дБ; 500 МГц: 3 дБ; 800 МГц: 5 дБ

*) Эти значения взяты из Рекомендации МСЭ-R ВТ.1368 и отражают значения, принятые в инструментах планирования.

ПРИМЕЧАНИЕ. – В случае если коэффициент шума измерительного приемника выше, чем у эталонного приемника (6–7 дБ в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R ВТ.2036-2), следует использовать малозумящий усилитель.

Схема подключения оборудования приведена на рисунке 22.

РИСУНОК 22
Схема подключения оборудования



SM.1875-22

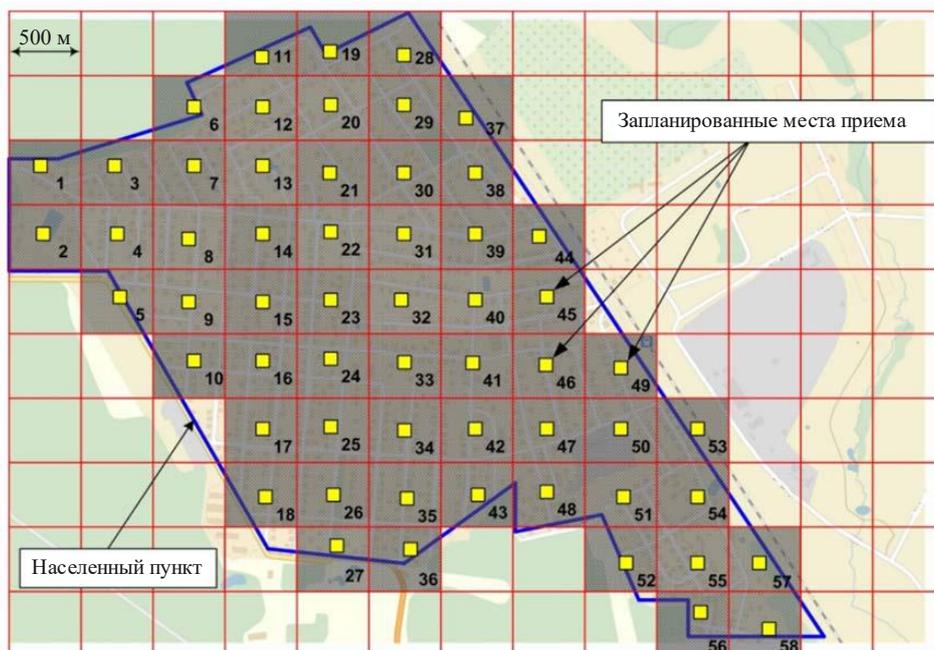
1 – передатчик DVB-T/DVB-T2; 2 – передающая антенна; 3 – направленная приемная антенна;
4 – калиброванный антенный кабель; 5 – малошумящий усилитель; 6 – измерительный приемник; 7 – компьютер;
8 – навигационный приемник.

A4.3 Планирование измерений

На испытательную зону налагается сетка из квадратов ("ячеек") со стороной 500 м (так называемая "контрольная сетка") и наносится на карту.

Контрольная сетка должна полностью покрывать испытательную зону. Точки измерения или места приема помечаются, как показано на рисунке 23. Количество мест приема в разных ячейках контрольной сетки может варьироваться.

РИСУНОК 23
Пример построения контрольной сетки



SM.1875-23

При необходимости места измерения можно проверить на возможность размещения измерительного оборудования с помощью спутниковых снимков (например, Google Earth) или путем посещения этих мест перед началом измерений.

A4.4 Процедура измерения

В каждом месте измерения должны измеряться следующие параметры сигнала:

- напряженность электромагнитного поля;
- стандартное отклонение амплитудно-частотных характеристик (σ_{sp}) сигнала DVB-T/T2;
- коэффициент ошибок по битам после декодера Витерби VBER для DVB-T или коэффициент ошибок по битам после декодера LDPC LBER для DVB-T2.

В сельских районах приемная антенна устанавливается на высоте 10 м. Если нельзя найти место измерения без препятствий в направлении передатчика, как, например, во многих городских районах с высотой крыш более 10 м, то измерение проводится на крышах зданий с приемной антенной, установленной на штативе.

Антенна ориентирована в направлении максимальной принимаемой напряженности поля. Место измерения считается подходящим, если этот максимум получен с направления соответствующей станции DVB-T/T2, а внешние помехи от электрического или электронного оборудования отсутствуют.

На отсутствие внешних помех могут указывать следующие условия:

- в спектре нет видимых узкополосных или CW-несущих, превышающих уровень полезного сигнала DVB-T/T2;
- уровень шума между требуемым и соседними каналами DVB-T/T2 ("промежутки" в спектре) менее чем на 3 дБ выше уровня шума приемника (измеренного при отсоединенной антенне).

В остальных случаях следует использовать альтернативное место измерения внутри ячейки.

Измерения проводятся при следующих настройках измерительного приемника (режим "анализатор спектра"):

- центральная часть полосы (FREQ): равна номинальной центральной части ТВ-канала;
- ширина полосы канала (интервал): 8–10 МГц;
- ширина полосы по разрешению (RBW): 30 кГц;
- полоса пропускания видеофильтра (VBW): от 100 до 300 кГц ($VBW \geq 3 RBW$);
- время качания: 2 с;
- детектор среднеквадратический: RMS;
- режим трассировки: Clear/Write.

За время измерения не менее 1 мин. необходимо выполнить 30 измерений напряженности поля и 30 измерений стандартного отклонения амплитудно-частотных характеристик σ_{sp} . Значения σ_{sp} рассчитываются в соответствии с Прилагаемым документом 5. Таким образом, для определения медианной (по времени) напряженности поля (E_{med}^{loc}) в каждом месте приема используются 30 измерений напряженности поля, включая σ_{sp} -поправку.

Значения σ_{sp} рассчитываются при каждом измерении напряженности поля. Это делается в целях устранения быстрого замирания, которое может повлиять на форму спектра сигнала.

Если результирующая напряженность поля (E_{med}^{loc}) ниже требуемого минимального значения, необходимо выполнить измерения в четырех дополнительных запланированных местах в пределах ячейки. Для каждой ячейки рассчитывается медианная напряженность поля E_{med}^{cell} .

A4.5 Обработка результатов измерения

Успешный прием сигнала DVB-T/T2 возможен и ячейка считается "покрытой", если выполняются следующие условия:

- $E_{med}^{loc} \geq E_{med}$;
- $VBER^{loc} \leq 2 \times 10^{-4}$ для DVB-T или $LBER^{loc} \leq 10^{-7}$ для DVB-T2;
- в процессе измерения VBER/LBER не происходили прерывания в течение по меньшей мере 60 с.

Если большинство точек измерения в пределах ячейки удовлетворяют вышеуказанным условиям, ячейка помечается зеленым цветом. В противном случае ячейка помечается красным цветом.

A4.6 Отображение результатов измерения

Результаты измерения наносятся на карту, как показано на рисунке 24. Процент покрытых ячеек в испытательной зоне рассчитывается следующим образом:

$$P(\%) = (m/n) \times 100\%, \quad (5)$$

где:

- m : число ячеек, в которых параметры сигнала соответствуют критериям покрытия;
- n : общее число ячеек в испытательной зоне.

В примере на рисунке 24: $P(\%) = (48/58) * 100\% = 82,8\%$.

РИСУНОК 24

Пример отображения результатов измерения



SM.1875-24

Прилагаемый документ 5

Необходимые корректировки результатов измерения

A5.1 Поправка канала приема (σ_{sp} -поправка)

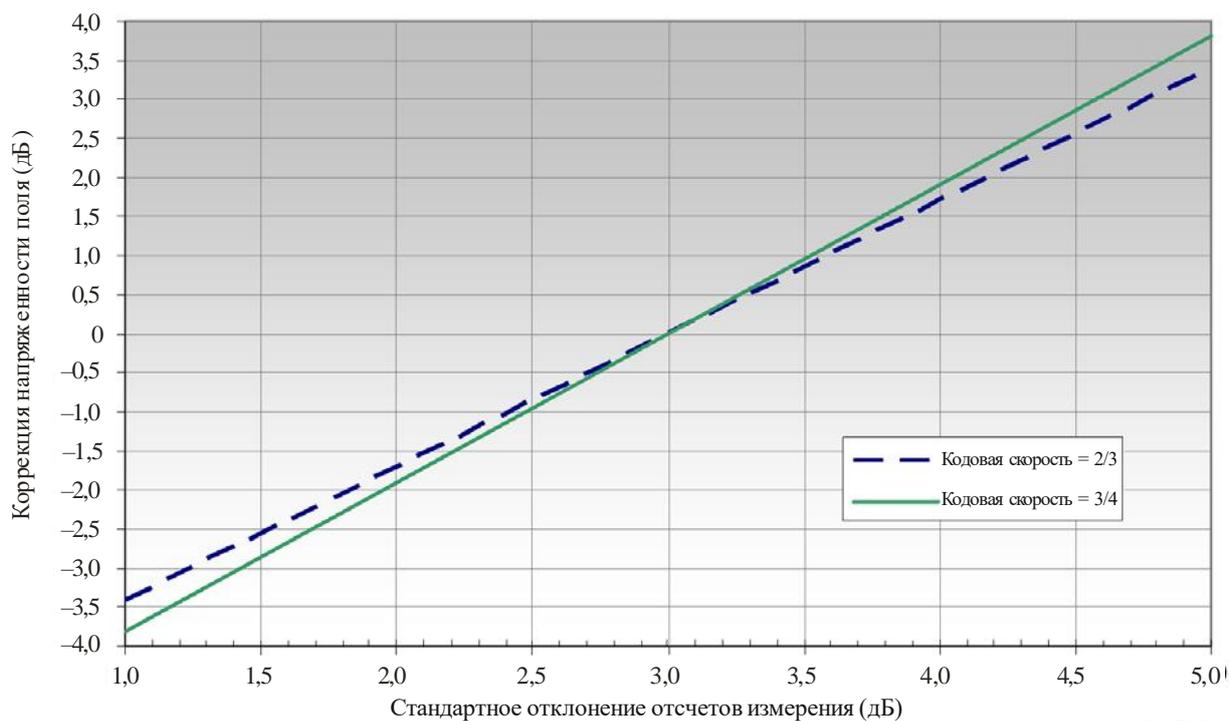
В таблицах минимального отношения сигнал/шум (C/N) Соглашения GE06 приняты райсовские каналы приема со стандартным отклонением σ_{sp} амплитудно-частотных характеристик, составляющим 1 дБ, или рэлеевские каналы со стандартным отклонением, составляющим 3 дБ. Реальные результаты измерений, однако, будут иметь стандартное отклонение, отличающееся от 1 или 3 дБ. В этих случаях следует вычесть значение поправки из медианы измеренных значений напряженности поля до их сравнения с соответствующими таблицами Соглашения GE06 в соответствии со следующей формулой:

$$C_{\sigma} = \frac{C/N_{Rayleigh} - C/N_{Gauss}}{2} * (\sigma_{sp} - 3).$$

На рисунке 25 показаны примеры результирующей поправки для систем 8k-DVB-T с кодовой скоростью 2/3 и 3/4.

РИСУНОК 25

Поправки в случае нестандартных каналов приема



SM.1875-25

A5.2 Поправка на вероятность охвата местоположений

Расчет поправки на вероятность охвата местоположений C_1 , не равного 50%, предполагает логарифмически нормальное распределение отсчетов принимаемых сигналов.

$$C_1 = \mu * \sigma \quad \text{дБ,}$$

где:

- μ – коэффициент распределения;
- σ – стандартное отклонение отсчетов измерения.

Для широкополосных сигналов, таких как сигналы DVB-T, в Соглашении GE06 стандартное отклонение в пределах крупных зон σ_1 определено равным 5,5 дБ. При таком исходном условии поправка для разной вероятности охвата местоположений может быть рассчитана в соответствии со значениями, приведенными в таблице 11.

ТАБЛИЦА 11

Поправки при разной вероятности охвата местоположений

Желательная вероятность охвата местоположений (%)	μ	C_1 (дБ)
50	0	0
70	0,52	2,9
95	1,64	9
99	2,33	12,8

Для оценки внутреннего покрытия из значений, полученных в результате наружных измерений, следует вычесть значения затухания в здании. Однако это затухание в здании также имеет стандартное отклонение σ_2 , которое должно быть добавлено к стандартному отклонению широкополосных сигналов σ_1 следующим образом:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}.$$

Для внутреннего покрытия DVB-T используется пример Рекомендации МСЭ-R P.1812-2, в котором определены следующие значения затухания в здании и σ_2 .

ТАБЛИЦА 12

Стандартные отклонение и затухание в здании для покрытия DVB-T внутри помещений

Диапазон частот (МГц)	Затухание в здании (дБ)	σ_2 (дБ)
ОВЧ	9	3
УВЧ	11	6

ПРИМЕЧАНИЕ. – Основой значений служит Рекомендация МСЭ-R P.1812-2.

A5.3 Общая поправка в отношении покрытия внутри помещений

Общая поправка, которая должна быть добавлена к измеренным в определенных фиксированных местоположениях значениям напряженности поля при оценке внутреннего покрытия, составляет сумму поправки по вероятности охвата местоположений C_1 , стандартного отклонения σ_1 при измерении широкополосного сигнала, значения затухания в здании и его стандартного отклонения σ_2 .

ТАБЛИЦА 13

**Общая поправка в отношении покрытия DVB-T внутри помещений
при измерении в фиксированных точках**

Диапазон частот (МГц)	Желательная вероятность охвата местоположений (%)	μ	σ_1 (дБ)	σ_2 (дБ)	σ (дБ)	C_1 (дБ)	Затухание в здании (дБ)	Общая поправка (дБ)
ОВЧ	70	0,52	5,5	3	6,3	3,3	9	12,3
	95	1,64				10,3		19,3
	99	2,33				14,7		23,7
УВЧ	70	0,52	5,5	6	8,1	4,2	11	15,2
	95	1,64				13,3		24,3
	99	2,33				18,9		29,9

ПРИМЕЧАНИЕ. – Основой значений служит Рекомендация МСЭ-R P.1812-2.

В случае измерений подвижного приема, что рекомендуется, стандартное отклонение σ_1 для широкополосных сигналов не применяется по следующим причинам:

- измерения выполнены именно в тех точках, где должен быть оценен прием;
- метод измерения обеспечивает такое большое количество отсчетов, что рассчитанная медиана всех отсчетов измерения уже представляет реальную медианную напряженность поля в пределах зоны измерения.

Общая поправка, которая должна применяться к этим значениям, представлена в сводной форме в таблице 14.

ТАБЛИЦА 14

**Общая поправка в отношении покрытия DVB-T внутри помещений
в случае измерения при подвижном приеме**

Диапазон частот (МГц)	Желательная вероятность охвата местоположений (%)	μ	σ (дБ)	C_1 (дБ)	Затухание в здании (дБ)	Общая поправка (дБ)
ОВЧ	70	0,52	3	1,6	9	10,6
	95	1,64		4,9		13,9
	99	2,33		7,0		16,0
УВЧ	70	0,52	5,5	2,9	8	10,9
	95	1,64		9,0		17,0
	99	2,33		12,8		20,8

Значения минимальной эквивалентной напряженности поля, используемые при планировании, приведены для приемной антенны высотой 10 м. Чтобы сравнить измеренные значения с плановыми, необходимо скорректировать высоту в соответствии с разделом 2.1.9 соглашения GE06.