

**Приложение № 1
к решению ГКРЧ
от 16 октября 2015 г.
№ 15-35-04**

**МЕТОДИКА
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ ОДИНОЧНОЙ ПЕРЕДАЮЩЕЙ
СТАНЦИИ НАЗЕМНОГО ЦИФРОВОГО ТВ-ВЕЩАНИЯ
СТАНДАРТА DVB-T2**

Разработана федеральным государственным унитарным предприятием
«Научно-исследовательский институт радио»

Москва 2014

Содержание

1 Основные положения	4
1.1 Назначение и область применения	4
1.2 Основные термины и определения	4
2 Требования к оборудованию	7
2.1 Состав измеряемых параметров сигнала станции НЦТВ	7
2.2 Состав и характеристики оборудования	8
2.3 Схема подключения оборудования при проведении измерений	10
2.4 Условия выполнения измерений	11
3 Методика определения зоны обслуживания передающей станции НЦТВ стандарта DVB-T2 для фиксированного приема	11
3.1 Определение границы зоны покрытия передающей станции НЦТВ стандарта DVB-T2 для фиксированного приема	12
3.1.1 Планирование проведения измерений	12
3.1.2 Порядок выполнения, обработки и представления результатов измерений.	15
3.1.3 Выполнение измерений параметров принимаемого сигнала	17
3.1.4 Обработка результатов измерений	18
3.1.5 Представление результатов измерений.....	23
3.2 Определение принадлежности заданных областей зоне обслуживания передающей станции НЦТВ стандарта DVB-T2 для фиксированного приема.....	24
3.2.1 Планирование проведения измерений	24
3.2.2 Порядок выполнения, обработки и представления результатов измерений..	26
3.2.3 Выполнение измерений параметров принимаемого сигнала	28
3.2.4 Обработка результатов измерений	28
3.2.5 Представление результатов измерений.....	31
3.3 Представление результатов определения зоны обслуживания передающей станции НЦТВ для фиксированного приема.....	31
Приложение А. Метод измерений напряженности электромагнитного поля сигнала DVB- T2.....	32
Приложение Б. Метод определения нормированной электрической составляющей напряженности электромагнитного поля сигналов станции НЦТВ и типа канала приема	35
Приложение В. Требуемые системой DVB-T минимальные медианные значения напряженности электромагнитного поля E_{med}	44
Приложение Г. Методика определения кривой, аппроксимирующей	51

результаты измерений напряженности электромагнитного поля вдоль выбранного направления от исследуемой передающей станции (Log-distance path loss model).....	
Приложение Д. Формы протоколов	55
Приложение Е. Рекомендации по выбору малых зон и мест приема для проведения измерений параметров сигнала передающей станции наземного цифрового ТВ-вещания стандарта DVB-T2	62
Список использованных источников	85

1 Основные положения

Система эфирного цифрового вещания DVB-T2 (далее система DVB-T2) определена стандартом ETSI EN 302 755 «Цифровое телевизионное вещание (DVB): структура кадров, канальное кодирование и модуляция для системы наземного цифрового телевидения второго поколения (DVB-T2)» [1].

Фиксированный прием – стационарный прием на антенну, установленную в условиях городской застройки на крышах зданий, а в условиях сельской местности – на высоте 10 м.

1.1 Назначение и область применения

1.1.1 Настоящая методика устанавливает порядок определения зоны обслуживания передающей станции наземного цифрового ТВ-вещания стандарта DVB-T2, работающей в диапазоне радиочастот от 174 до 790 МГц.

1.2 Основные термины и определения

1.2.1 В настоящей методике используются термины по ГОСТ 24375-80 [2] и ГОСТ Р 52210-2004 [3], а также следующие термины и определения:

зона обслуживания (зона уверенного приема) – территория, в пределах которой в присутствии внешних помех и шумов обеспечивается устойчивый прием ТВ-программ цифрового ТВ-вещания с заданным качеством приема;

зона покрытия – территория, в пределах которой величина напряженности поля равна или превышает величину минимальной медианной напряженности поля, определенную для конкретных условий приема и с заданной вероятностью охвата мест приема;

малая зона – площадка на исследуемой территории размерами приблизительно 100x100 метров, предназначенная для выбора на ней нескольких мест приема с целью получения усредненных (медианных) для данной зоны измеренных значений параметров ТВ-сигнала;

место приема – географическое местоположение с известными координатами, в котором осуществляется прием радиосигнала;

минимальная медианная напряженность поля (E_{med} , дБ (отн. 1 мкВ/м)) – минимальное значение напряженности поля, необходимое для обеспечения требуемого качества приема в заданном проценте мест приема при наличии естественного или промышленного шума, но без помех от других передатчиков;

минимальная напряженность поля (E_{min} , дБ (отн. 1 мкВ/м)) – минимальное значение напряженности поля, необходимое для обеспечения требуемого качества приема на стандартную установку индивидуального пользования при отсутствии промышленного шума и без помех от других передатчиков;

тестовая площадка – тестовая площадка – площадка на исследуемой территории, имеющая размеры 500х500 метров, предназначенная для выбора на ней одного или нескольких мест приема с целью получения данных о наличии/отсутствии уверенного приема сигнала в пределах данной площадки;

фиксированный прием – прием DVB-T2 сигнала на фиксированную направленную антенну, установленную:

- для приема в условиях городской застройки – на высоте не менее 2 м от уровня крыш зданий;
- для приема за городом (в сельской местности) – на высоте 10 м от уровня земли;

1.2.2 В данной методике используются следующие обозначения:

E_{ni} – значение измеренной за двухсекундный интервал времени напряженности электромагнитного поля полезного цифрового ТВ-сигнала в i -том месте приема;

$E_{ni}^{норм}$ – значение нормированной на канал Рэлея напряженности электромагнитного поля в i -том месте приема, вычисленное на основе результатов измерений E_{ni} и огибающей спектра;

E_{mpi} – медианное значение измеренной напряженности электромагнитного поля полезного цифрового ТВ-сигнала в i -том месте приема;

E_{mj} – медианное значение измеренной напряженности электромагнитного поля полезного цифрового ТВ-сигнала для j -той малой зоны;

$E_{med}(X\%)$ – минимальное медианное значение напряженности электромагнитного поля, необходимое для обеспечения вероятности охвата $X\%$ мест приема;

$E_{mpi}^{норм}$ – медианное значение расчетной нормированной на канал Рэлея напряженности электромагнитного поля в i -том месте приема, определяется с целью сопоставления измеренной напряженности поля с табличными значениями;

$E_{мзj}^{норм}$ – медианное значение расчетной нормированной на канал Рэлея напряженности электромагнитного поля для j -той малой зоны, определяется с целью сопоставления измеренной напряженности поля с табличными значениями;

$P, \%$ – процент реального (по результатам измерений) охвата цифровым ТВ-вещанием заданной территории, определенный для конкретных условий приема;

R_ϕ – радиус в ϕ -том направлении от передатчика зоны покрытия;

$LBER_{mpi}$ – коэффициент ошибок по битам после декодера LDPC в i -том месте приема.

1.2.3 В методике использованы следующие сокращения:

C/N – Carrier/Noise (отношение несущая/шум);

DVB-T2 – Digital Video Broadcasting — Second Generation Terrestrial;

GPS – Global Positioning System;

ETSI – European Telecommunications Standards Institute (Европейский институт по стандартизации в области телекоммуникаций);

EVM – Error Vector Magnitude (величина вектора ошибки);

MER – Modulation Error Ratio (коэффициент ошибки модуляции);

PLP – Physical Layer Pipe (поток физического уровня);

QAM – Quadrature Amplitude Modulation (квадратурная амплитудная модуляция);

QPSK – Quadrature Phase Shift Keying (квадратурная фазовая манипуляция);

TS – Transport stream (транспортный поток);

ГЛОНАСС – глобальная навигационная спутниковая система;

ИСЗ – искусственный спутник Земли;

КСВН – коэффициент стоячей волны по напряжению;

НЦТВ – наземное цифровое телевизионное вещание;

СПО – специальное программное обеспечение;

ТВ – телевидение.

2 Требования к оборудованию

2.1 Состав измеряемых параметров сигнала станции НЦТВ

При определении зоны обслуживания передающей станции наземного цифрового телевизионного вещания стандарта DVB-T2 для фиксированного приема в местах приема проводят измерение следующих параметров сигнала:

- напряженности электромагнитного поля;
- огибающей спектра сигнала;
- LBER.

Запись огибающей спектра сигнала осуществляют в соответствии с документацией на используемое оборудование.

Метод измерений напряженности электромагнитного поля сигналов станции НЦТВ в месте приема заключается в измерении измерительным приемником на выходе кабеля приемной измерительной антенны напряжения сигнала $U_{изм}$ с последующим расчетом напряженности электромагнитного поля $E_{из}$, в соответствии с Приложением А.

Нормированную на канал Рэлея напряженность поля и тип канала приема определяют в соответствии с методикой, приведенной в Приложении Б.

Измерение параметра LBER производят в соответствии с документацией на используемое оборудование.

При невозможности проведения измерений параметра LBER в местах приема оператор дает субъективную оценку качества изображения принимаемого сигнала DVB-T2.

2.2 Состав и характеристики оборудования

Для определения зоны обслуживания передающей станции наземного цифрового ТВ-вещания используется подвижный измерительный комплекс, в состав которого входит следующее оборудование:

- а) антенная мачта, которая может быть поднята на 10 м над уровнем земли;
- б) штатив, с возможностью крепления на нем измерительной антенны на высоте не менее 1-2 м от уровня поверхности;
- в) направленная измерительная или калиброванная пассивная антенна;
- г) калиброванные кабели снижения измерительных антенн;
- д) измерительный приемник DVB-T2 с функцией анализатора спектра;
- е) тестовый бытовой ТВ-приемник DVB-T2 – не менее 3 шт;
- ж) навигационный приемник глобальных навигационных спутниковых систем (навигационный приемник);
- з) специальное программное обеспечение (СПО);
- и) компьютер;
- к) компас;
- л) телевизор.

Оборудование измерительных комплексов должно удовлетворять требованиям, приведенным в таблице 1.

Таблица 1 – Требования к оборудованию подвижного измерительного комплекса.

Наименование	Основные характеристики
Антенна пассивная направленная измерительная или калиброванная	Диапазон частот: от 174 до 790 МГц. КСВН: не более 2,5. Ширина диаграммы направленности по уровню минус 3 дБ в рабочем диапазоне частот, град: от 40 до 25. Коэффициент усиления, не менее: – для III диапазона: 7 дБд; – для IV диапазона: 10 дБд; – для V диапазона: 12 дБд. Коэффициент защитного действия, не менее: – для III диапазона: 12 дБ; – для IV и V диапазона: 16 дБ. Поляризация: линейная.

Наименование	Основные характеристики
	Погрешность калибровочного коэффициента $\pm 2,5$ дБ. Диаграмма направленности типовой направленной приемной антенны приведена на рисунке 1[4].
Измерительный приемник DVB-T2 с функцией анализатора спектра	Функция анализатора спектра. Диапазон частот: от 100 до 1000 МГц. Верхняя граница диапазона установки полосы обзора: не менее 10 МГц. Диапазон установки полосы пропускания: от 1 до 300 кГц. Режим измерения мощности в канале. Погрешность измерения напряжения: не более $\pm 0,5$ дБ. Измерение параметров: LBER. Интерфейс передачи данных в компьютер.
Тестовый бытовой ТВ-приемник DVB-T2	Соответствие с ГОСТ Р 55947-2014 [5].
Калиброванные кабели снижения измерительных антенн	Диапазон частот: от 100 до 1000 МГц. КСВН: не более 2,5. Затухание в кабеле (для фиксированного приема): – для III диапазона: не более 2 дБ; – для IV диапазона: не более 3 дБ; – для V диапазона: не более 5 дБ. Погрешность калибровочного коэффициента $\pm 0,5$ дБ.
Навигационный приемник глобальных навигационных спутниковых систем	Возможность работы с глобальными навигационными спутниковыми системами ГЛОНАСС и GPS. Интерфейс передачи данных в компьютер.
Компас	Цена деления, не более: 1° .
Специальное программное обеспечение (СПО)	Управление оборудованием, сбор и обработка результатов измерений.
Компьютер	Совместимость с измерительным оборудованием. Наличие установленного СПО для управления оборудованием, сбора и обработки результатов измерений.
Телевизор	Совместимость по входу с тестовым бытовым ТВ-приемником DVB-T2.

Примечания

1 Допускается для перекрытия указанного в настоящей таблице диапазона частот и для соответствия указанным выше требованиям использовать несколько приборов (средств измерений), обеспечивающих требуемые параметры и точность измерения.

2 Измерительные приборы, используемые в настоящей методике, должны быть снабжены документами с отметками о результатах периодических проверок, подтверждающих их исправность и пригодность для проведения измерений.

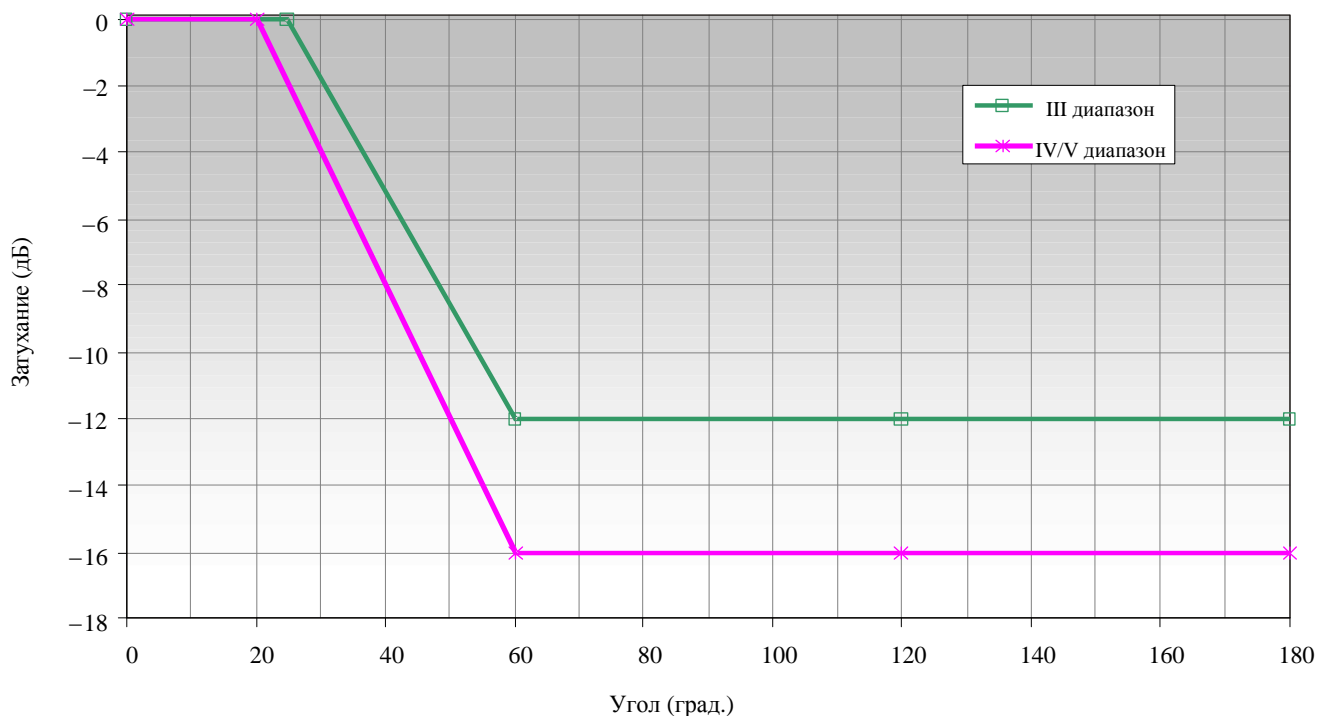
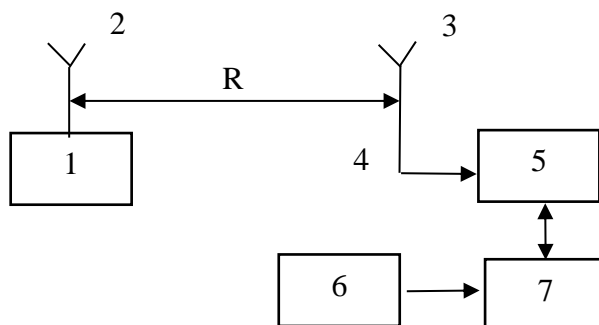


Рисунок 1 – Диаграмма направленности приемной направленной антенны.

2.3 Схема подключения оборудования при проведении измерений

Схема измерительной установки для фиксированного приема показана на рисунке 2.



- 1 – передатчик станции НЦТВ; 2 – передающая антенна станции НЦТВ;
- 3 – направленная измерительная антенна; 4 – кабель снижения приемной антенны;
- 5 – измерительный приемник DVB-T2 с функцией анализатора спектра;
- 6 – навигационный приемник; 7 – компьютер.

Рисунок 2 – Схема подключения оборудования при проведении измерений параметров сигнала станции НЦТВ стандарта DVB-T2 для фиксированного приема.

2.4 Условия выполнения измерений

2.4.1 При выполнении измерений условия применения оборудования должны соответствовать требованиям, указанным в технических документах на оборудование конкретного типа.

2.4.2 Средства измерений должны работать от сети переменного тока напряжением 220 В (качество электрической энергии согласно ГОСТ 13109-97), либо от источника постоянного тока напряжением от 11 до 15 В.

П р и м е ч а н и е – Для оборудования, рассчитанного на работу от источника постоянного тока, напряжение, ток и допустимые пульсации указаны в технических документах на данный тип оборудования в случае, если преобразователь не входит в комплект поставки.

2.4.3 Измерения выполняют при работе передатчика станции НЦТВ в штатном режиме, предусмотренном в технических документах на радиопередатчик конкретного типа.

3 Методика определения зоны обслуживания передающей станции НЦТВ стандарта DVB-T2 для фиксированного приема

Методика включает в себя два этапа. На первом этапе определяют границы зоны покрытия передающей станции НЦТВ по результатам расчёта и измерения напряженности электромагнитного поля в запланированных малых зонах.

На втором этапе осуществляется исследование проблемных областей зоны покрытия, в которых выявлен нестабильный прием сигнала от передающей станции НЦТВ. Как правило, такие измерения проводят в тех случаях, когда эти области приходятся на населенные пункты.

Зона обслуживания определяется как суммарная зона, полученная нанесением на карту местности границ зоны покрытия и результатов обследований, вышеупомянутых областей.

3.1 Определение границы зоны покрытия передающей станции НЦТВ стандарта DVB-T2 для фиксированного приема

3.1.1 Планирование проведения измерений

3.1.1.1 Для исследуемой станции НЦТВ с выбранным PLP с помощью СПО в соответствии с выбранным методом расчета определяют границу расчетной зоны покрытия с заданной вероятностью охвата мест (X%; например, X=95%).

Расчет границы зоны покрытия для исследуемой станции производят следующим образом:

- в секторе азимутальных углов от 0° до 360° с интервалом не более 10° от станции выбирают радиальные направления;
- на каждом радиальном луче определяют положения расчетных точек с шагом:
 - для передатчиков мощностью менее 100 Вт: 50 м;
 - для передатчиков мощностью 100 Вт и выше: 100 м;
- в каждой точке в соответствии с выбранным методом расчета (например, Рекомендация МСЭ-R P.1546 [6]) вычисляют напряженность электромагнитного поля;
- в каждой точке расчетную напряженность поля сравнивают с требуемой минимальной медианной напряженностью электромагнитного поля;
- на каждом направлении, начиная с 21-ой расчетной точки, находят точку A_i такую, что большинство расчетных точек, лежащих на отрезке (A_{i-20} ; A_{i+20}), не принадлежат зоне покрытия (расчетная напряженность поля в большинстве выбранных точек оказалась ниже требуемой минимальной медианной напряженности поля), тогда точка A_{i-1} считается граничной, а расстояние от исследуемой станции до точки A_{i-1} определит радиус расчетной зоны покрытия на заданном направлении;
- последовательно на каждом радиальном направлении от исследуемой станции определяют граничные расчетные точки;
- замкнутая кривая, соединяющая граничные точки по всем направлениям, будет определять расчетную границу зоны покрытия.

При расчетах высота приемной антенны определяется типом местности и равна:

- для районов города с многоэтажными и высотными зданиями – 30 м;

- для районов города, где преобладают здания средней этажности (от 3 до 5 этажей) – 15 м;
- для районов города с малоэтажной застройкой (1-2 этажа) и в сельской местности – 10 м.

В случае отсутствия данных о типе местности высота приемной антенны при расчетах берется равной 10 м. Расчетную границу зоны покрытия наносят на карту местности.

Для расчета границы зоны покрытия допускается использование любых известных программных средств, например: «РАКУРС», «ПИАР», «ЭФИР» и др., при условии, что они обеспечивают выполнение вышеуказанных требований.

3.1.1.2 Анализируя карту местности, определяют радиальные направления от станции НЦТВ, по которым будут проводить измерения, для нахождения положения реальной границы зоны покрытия данной станции. Условия выбора направлений:

- количество радиальных направлений должно быть не менее 4 и не более 36;
- азимутальный угол между двумя смежными направлениями должен быть не менее 10° и не должен превышать 150° ;
- направления выбирают с учетом рельефа местности и наличия радиальных шоссежных дорог.

Выбранные радиальные направления наносятся на карту местности.

3.1.1.3 На каждом радиальном направлении определяют положение не менее 7 малых зон. Положение первой малой зоны должно удовлетворять следующим требованиям:

- малая зона должна располагаться в дальней зоне излучения антенны станции НЦТВ на расстоянии $R \geq 2D^2/\lambda$, где: D – линейный размер апертуры антенны станции цифрового вещания в плоскости поляризации излучения (в метрах), λ – длина волны излучения (в метрах);
- малая зона должна находиться в пределах прямой видимости на исследуемую станцию;

- малая зона должна находиться в зоне облучения основного лепестка диаграммы направленности передающей антенны.

Остальные малые зоны размещают ближе к расчетной границе зоны покрытия по возможности с одинаковым шагом S , равным от 1 до 10 км, на отрезке:

$$\text{от } \sim(0,6 \dots 0,7) \cdot R_{\text{расч}} \text{ до } \sim(1,3 \dots 1,4) \cdot R_{\text{расч}},$$

где $R_{\text{расч}}$ – расстояние от передатчика до расчетной границы зоны покрытия с заданной вероятностью охвата мест приема (рисунок 3).



Рисунок 3 – Пример назначения малых зон для определения границы зоны покрытия с последующей корректировкой положения этой границы по результатам измерений.

3.1.1.4 Уточняют положение малых зон и мест приема по фотографиям с ИСЗ или по данным их предварительного осмотра на местности. Места для размещения малых зон следует выбирать так, чтобы локальных мешающих предметов в окрестностях малой зоны было бы как можно меньше, а на возможное изменение напряженности поля внутри малой зоны в первую очередь влияла бы неровность рельефа подстилающей поверхности на исследуемом направлении. Рекомендации по выбору площадок для малых зон и мест приема даны в Приложении Е.

3.1.1.5 Составляют расписание проведения измерений.

3.1.2 Порядок выполнения, обработки и представления результатов измерений

3.1.2.1 Перемещают подвижный измерительный комплекс, укомплектованный оборудованием согласно п. 2.2 и п. 2.3 данной методики, в малую зону в соответствии с расписанием проведения измерений.

3.1.2.2 В выбранной малой зоне намечают не менее 5 мест приема.

3.1.2.3 В условиях сельской местности или в условиях малоэтажной застройки приемную антенну устанавливают на мачту, ориентируют по поляризации и поднимают на высоту 10 м.

При многоэтажной застройке в зоне с неустойчивым приёмом в случае недостаточного уровня приёма сигнала на 10 м измерения проводят с использованием штатива с креплением для измерительной антенны. Штатив устанавливают на крыше наиболее высокого дома в окрестностях выбранной малой зоны. К штативу крепят приемную антенну, после чего антенну ориентируют по поляризации и поднимают на высоту не менее 2 м над уровнем крыши.

3.1.2.4 В каждом месте приема записывают текущие координаты. Зная координаты исследуемой станции, по карте местности определяют азимут на исследуемую станцию НЦТВ (расчетный азимут прихода полезного сигнала).

3.1.2.5 Поворачивая антенну в горизонтальной плоскости, определяют направление прихода полезного сигнала максимального уровня, наличие/отсутствие помех.

Азимут прихода сигнала определяют с помощью компаса. Для этого измеряют азимутальный угол, по которому направлена несущая стрела приемной антенны (траверса). Истинный (географический) азимут прихода сигнала определяют по формуле:

$$A_{и} = A_{м} + \gamma + \Delta\psi, \quad (1)$$

где: $A_{и}$ – истинный (географический) азимут прихода сигнала;

$A_{м}$ – измеренный по компасу магнитный азимут несущей стрелы приемной антенны (траверсы);

γ – склонение магнитной стрелки (магнитное склонение) – угол между истинным (географическим) и магнитным меридианами; магнитное склонение считается положительным, если северный конец магнитной стрелки компаса отклонен к востоку от географического меридиана, и отрицательным – если к западу;

$\Delta\psi$ – угол в горизонтальной плоскости между направлением основного лепестка диаграммы направленности и несущей стрелой (траверсой) приемной антенны.

Если реальное значение азимута прихода полезного сигнала в точке измерения не совпадает с расчетным значением азимута на ТВ-станцию (отклонение превышает $\pm 15^\circ$), то делается соответствующая запись в журнале измерений об аномальном направлении прихода. Дальнейшие измерения в этой точке приема не проводят, а измерительный комплекс перемещают в следующее место приема данной малой зоны, где повторяют процедуру проверки азимута прихода полезного сигнала с максимальным уровнем.

Если реальный азимут прихода полезного сигнала совпадает с расчетным (в пределах $\pm 15^\circ$), но в месте приема присутствует помеха, то делают соответствующую запись в журнале измерений.

3.1.2.6 Последовательно в каждом месте приема данной малой зоны в соответствии с п. 3.1.2.5 решают вопрос о пригодности каждого места приема данной малой зоны для проведения измерений параметров сигнала.

3.1.2.7 В каждом месте приема, где не выявлено присутствие помеховых сигналов и азимут прихода полезного сигнала совпадает с расчетным (в пределах $\pm 15^\circ$), устанавливают приемную антенну в направлении прихода сигнала с максимальным уровнем, после чего выполняют измерения параметров принимаемого сигнала в соответствии с п. 3.1.3. Результаты измерений сохраняют для дальнейшей обработки.

3.1.2.8 Если в первом месте приема малой зоны каналом приема был канал Гаусса, то измерения в последующих местах приема данной малой зоны можно не проводить. Если в первых трех местах приема малой зоны основным каналом приема был канал Райса или Релея, и разница между измеренными медианными значениями нормированной напряженности поля в этих точках не превышает 6 дБ, то измерения в дальнейших местах приема данной малой зоны можно не проводить.

3.1.2.9 В соответствии с расписанием измерений выполняют действия по п.п. 3.1.2.1 - 3.1.2.8 в каждой из последующих малых зон.

3.1.2.10 С использованием СПО производят обработку результатов измерений параметров в соответствии с п. 3.1.4.

3.1.2.11 Результаты определения зоны покрытия станции НЦТВ с использованием СПО представляют в соответствии с п. 3.1.5.

3.1.3 Выполнение измерений параметров принимаемого сигнала

3.1.3.1 Измерения проводят для выбранного PLP.

3.1.3.2 В каждом месте приема в течение 60 секунд с помощью СПО в соответствии с Приложением А и документацией на используемое оборудование в каждом 2-х секундном интервале проводят измерение напряженности электромагнитного поля E_{ni} и записывают огибающую спектра сигнала. Затем, в соответствии с Приложением Б, вычисляют нормированную напряженность поля

$E_{ni}^{\text{норм}}$. По 30-ти полученным значениям E_{ni} и $E_{ni}^{\text{норм}}$ определяют медианное значение измеренной и нормированной напряженности электромагнитного поля $E_{\text{мп}i}$ и $E_{\text{мп}i}^{\text{норм}}$ в данном месте приема.

3.1.3.3 В каждом месте приема по окончании измерений напряженности поля в течение 60 секунд определяют коэффициент ошибок по битам после декодера LDPC. Измерение параметра $LBER_{\text{мп}i}$ производят в соответствии с документацией на используемое оборудование.

При невозможности проведения измерений в месте приема параметра $LBER_{\text{мп}i}$, оператор дает субъективную оценку качества изображения принимаемого DVB-T2 сигнала на не менее трех тестовых бытовых приемниках, удовлетворяющих требованиям п. 2. Для этого выход с приемной антенны последовательно подключают к каждому тестовому приемнику и далее дают оценку качества изображения для каждого приемника по окончании просмотра отрывка длительностью не менее 60 секунд.

3.1.4 Обработка результатов измерений

3.1.4.1 Для выбранного PLP определяют принадлежность каждого места приема к зоне покрытия станции НЦТВ:

- экспериментально полученное медианное значение $E_{\text{мп}i}^{\text{норм}}$ каждого места приема сравнивают с минимальной медианной напряженностью поля $E_{\text{мед}}(X\%)$ (см. Приложение В). Если $E_{\text{мп}i}^{\text{норм}} \geq E_{\text{мед}}(X\%)$, то считают, что это место приема принадлежит зоне покрытия.

Определяют принадлежность каждого места приема к зоне обслуживания станции НЦТВ:

- экспериментально полученное значение $LBER_{\text{мп}i}$ сравнивают с пороговым значением равным 10^{-7} . Если при $E_{\text{мп}i}^{\text{норм}} \geq E_{\text{мед}}(X\%)$ было зафиксировано, что $LBER_{\text{мп}i} \leq 10^{-7}$, то считают, что это место приема принадлежит зоне обслуживания.

Если во время измерений параметра $LBER_{\text{мп}i}$ наблюдался сбой, в результате которого процесс измерения $LBER$ начинался заново, или если за время

наблюдения, измеренное значение $LBER_{mpi}$ превысило порог 10^{-7} , то считают, что данное место приема не принадлежит зоне обслуживания.

При субъективной оценке качества принимаемого ТВ-сигнала на экране телевизора за все время наблюдений ни для одного приемника не должно быть зафиксировано наличие артефактов при показе. В ином случае считают, что место приема не принадлежит зоне обслуживания.

3.1.4.2 Принадлежность малой зоны зоне обслуживания определяется большинством мест приема в данной малой зоне, принадлежащих/не принадлежащих зоне обслуживания. Малая зона, принадлежащая зоне обслуживания, помечают зеленым цветом, а не принадлежащая зоне обслуживания – красным цветом (см. рис. 5).

3.1.4.3 В результате выполнения измерений во всех местах приема каждой малой зоны получают ряд, состоящий из n численных значений нормированной напряженности электромагнитного поля – по количеству мест приема в малой зоне:

$$E_{мп1}^{норм}; E_{мп2}^{норм}; E_{мп3}^{норм}; E_{мп4}^{норм}; \dots E_{мпn}^{норм}.$$

Методом попарного последовательного отбрасывания наибольшего и наименьшего значений [7] определяют медианное значение нормированной напряженности электромагнитного поля для каждой малой зоны $E_{мзj}^{норм}$.

3.1.4.4 Если для исследуемого направления в двух крайних наиболее дальних от передатчика малых зонах выполняется условие:

$$E_{мзj}^{норм} < E_{med}(X\%), \quad (2)$$

то измерения на данном направлении можно считать законченными. В ином случае на данном направлении, с тем же шагом S , размещают еще 2 – 3 малые зоны, в которых проводят дополнительные измерения и по их завершению повторяют процедуру проверки окончания измерений результатов измерений (см. рисунок 4).

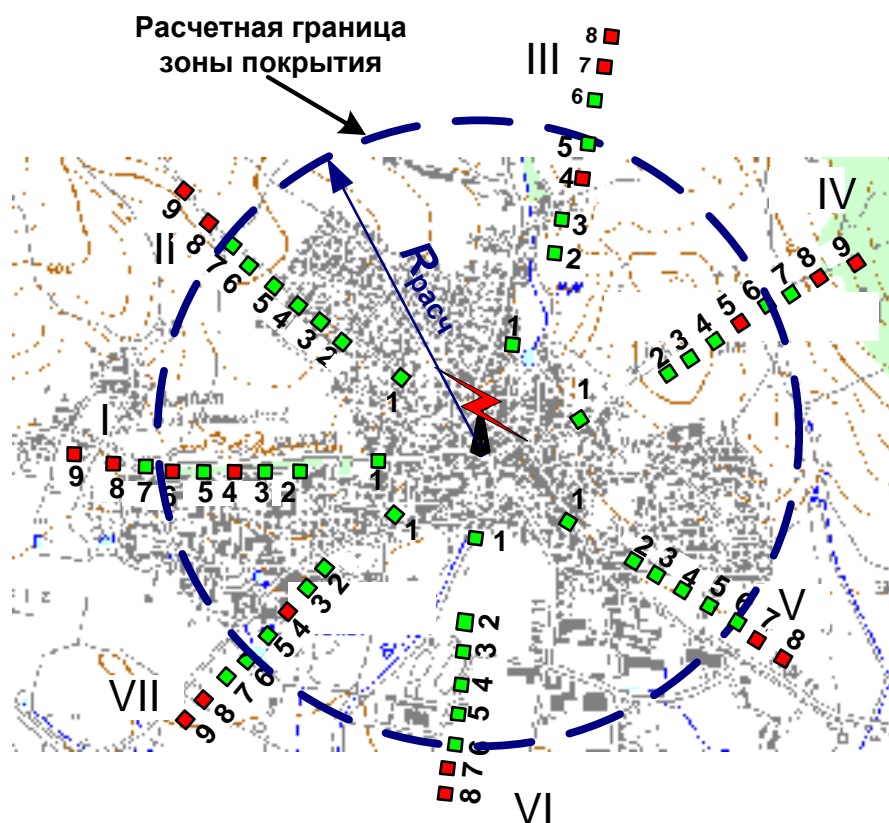


Рисунок 4 – Пример представления обработанных результатов измерений по направлениям.

3.1.4.5 Рассчитанную границу зоны покрытия корректируют с учетом результатов измерений:

- для выбранного направления (например, «I» рисунок 4), определяют итоговый азимут, как среднеарифметическое значение азимутов малых зон, в которых по данному направлению от исследуемой станции проводились измерения;
- в поле координатных осей $E(R)$ наносят точки, соответствующие медианным значениям нормированной напряженности поля сигнала, полученным по измерениям в малых зонах данного направления;
- согласно методике, описанной в Приложении Г, определяют кривую аппроксимирующую полученных значений нормированной напряженности поля;
- кривая определяет усредненное сглаженное распределение напряженности поля вдоль данного направления;

- проводят горизонтальную прямую, соответствующую минимальной медианной напряженности поля с заданной вероятностью охвата местоположений $E_{med}(X\%)$ (см. пример – рисунок 5);

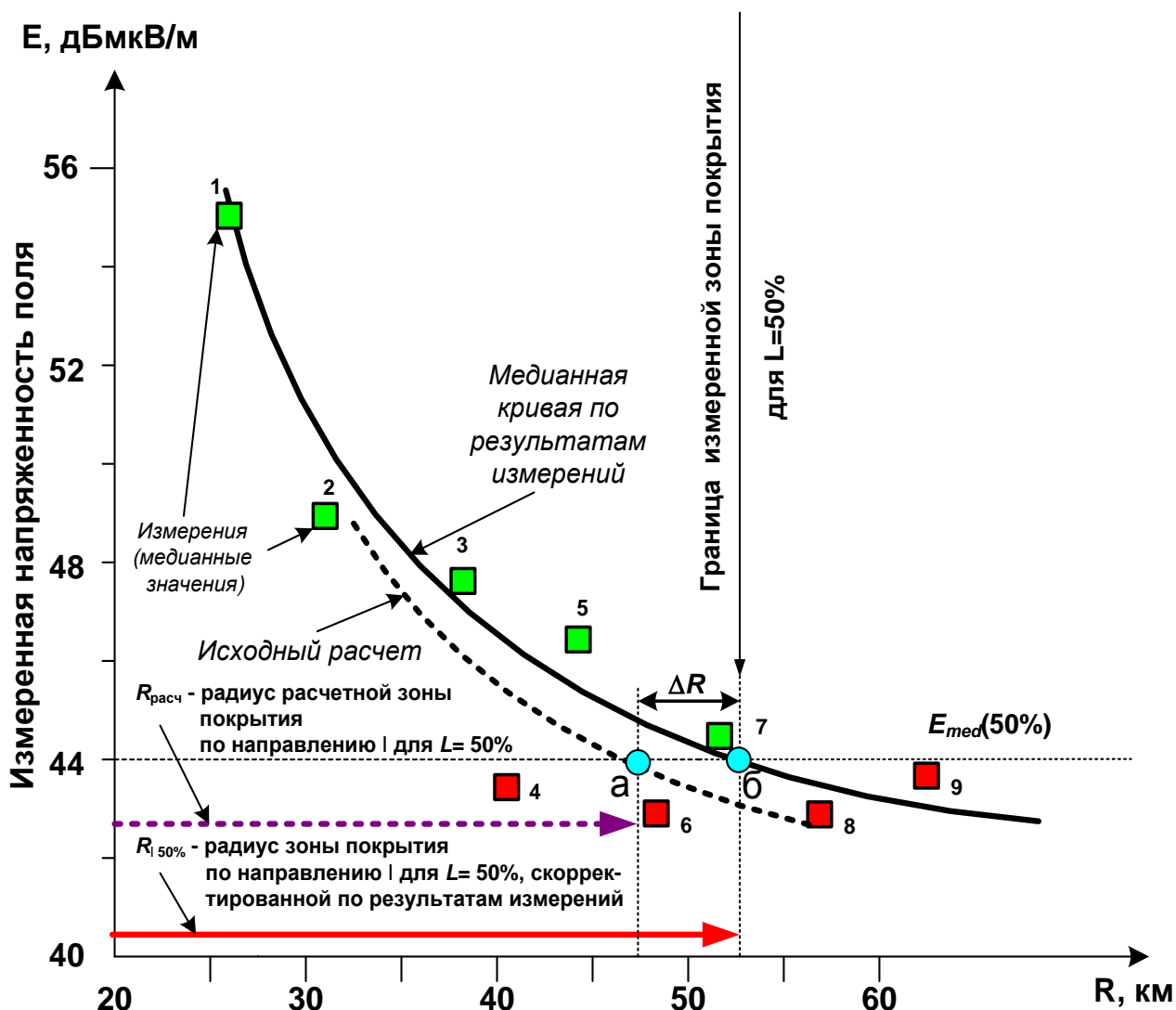


Рисунок 5 – Пример обработки результатов измерений на одном из направлений при определении границы зоны покрытия для вероятности охвата 50% мест.

- точка пересечения «б» определит радиус реальной на момент измерений зоны покрытия по данному направлению «I», т.е. $R_{I X\%}$;
- точка пересечения расчетной кривой с прямой $E_{med}(X\%)$ (точка «а» на рисунке б) определит радиус расчетной зоны покрытия $R_{расч}$;
- величину и знак коррекции положения границы зоны покрытия по данному направлению ΔR вычисляют как: $\Delta R = R_{расч} - R_{I X\%}$;

- аналогичные действия выполняют для всех запланированных направлений;

- расчетную границу корректируют с учетом поправки ΔR . При корректировке границы на промежуточных направлениях, где измерения не проводились, значение ΔR определяют как линейную функцию угла, находящегося между двумя смежными направлениями. Например, для i -го направления лежащего между направлениями «I» и «II» ΔR_i определяют по формуле:

$$\Delta R_i = \Delta R_I + \frac{(\Delta R_{II} - \Delta R_I)}{\Delta_{II-I}} \times \Delta_{i-I} , \quad (3)$$

где:

ΔR_I , ΔR_{II} – величина коррекции по расстоянию соответственно для направления «I» и для направления «II»,

Δ_{II-I} , Δ_{i-I} - углы секторов между соответственно направлениями «II» и «I», и направлениями « i » и «I»;

- на карте местности отображают скорректированную границу зоны покрытия (см. рисунок б).

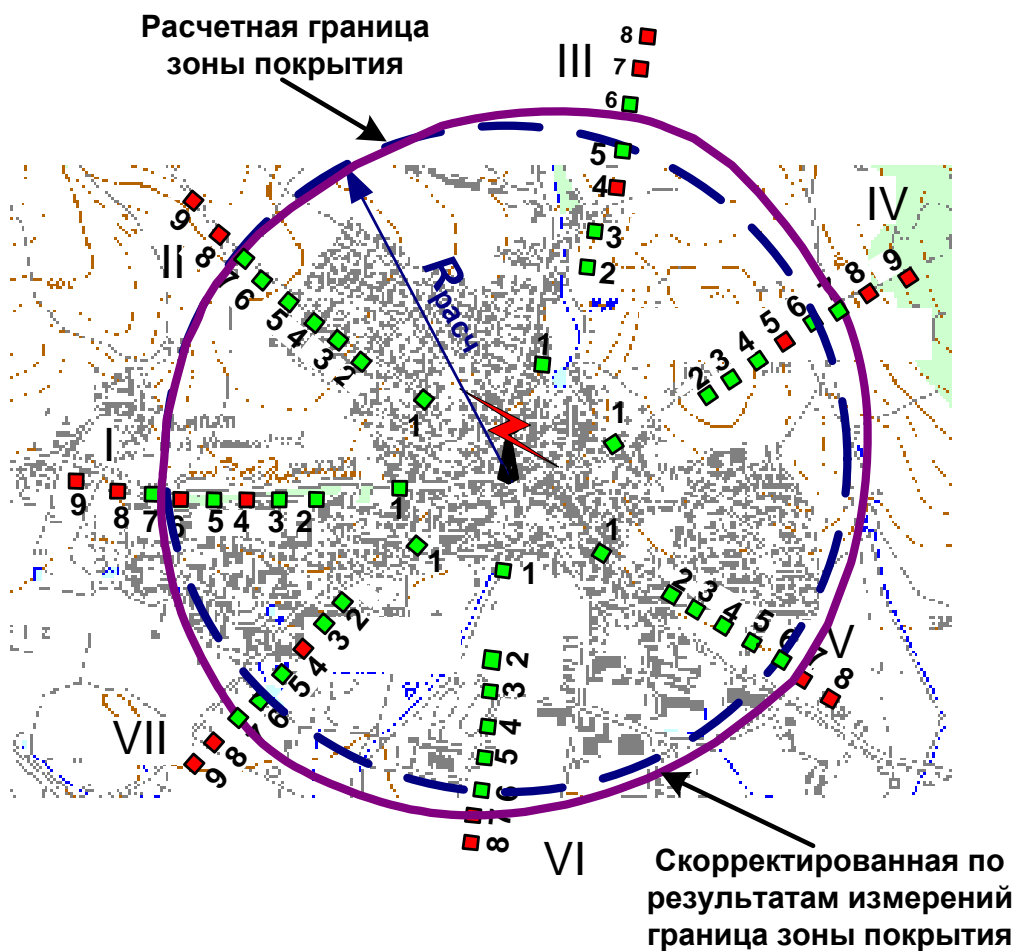


Рисунок 6 – Пример представления скорректированной границы зоны покрытия.

3.1.5 Представление результатов измерений

3.1.5.1 По результатам измерения параметров сигнала станции НЦТВ в малых зонах составляют протоколы измерений по установленной форме (см. Приложение Д).

3.1.5.2 Результаты расчетов и измерений по определению положения границы зоны покрытия представляют в следующем виде: на карту местности наносят скорректированную по результатам измерений границу зоны покрытия с местами расположения малых зон, в которых производились измерения параметров сигнала станции НЦТВ, раскрашенные цветами в соответствии с п. 3.1.4 (см. рисунок 6).

3.2 Определение принадлежности заданных областей зоне обслуживания передающей станции НЦТВ стандарта DVB-T2 для фиксированного приема

3.2.1 Планирование проведения измерений

3.2.1.1 Внутри зоны покрытия, определенной согласно п. 3.1, выбирают области, в которых необходимо провести дополнительные измерения, с целью определения принадлежности данных областей зоне обслуживания передающей станции НЦТВ стандарта DVB-T2. Этими областями могут быть зоны, которые по результатам расчета не относятся к зоне уверенного приема или в которых по результатам проведенных измерений выявлен нестабильный прием сигнала передающей станции НЦТВ. Также в качестве таких областей могут быть определены:

- населенные пункты с заданной численностью населения;
- территории, где есть сообщения о помехах;
- зоны (места приема), в которых необходимо провести проверку расчетных значений напряженности электромагнитного поля и качества приема сигнала DVB-T2.

Для маломощных передающих станций НЦТВ можно исследовать всю зону покрытия.

3.2.1.2 На карту местности выбранных областей наносится сетка с шагом S равным 500 м, в ячейках которой расположены тестовые площадки. Тестовая сетка должна целиком покрывать исследуемую территорию.

3.2.1.3 Примерно в центре каждой тестовой площадки, выбирают места проведения измерений. Данные места обозначают как плановые и заносят в расписание проведения измерений. Положение мест уточняют по фотографиям с ИСЗ или по данным их предварительного осмотра на местности (рисунок 7).

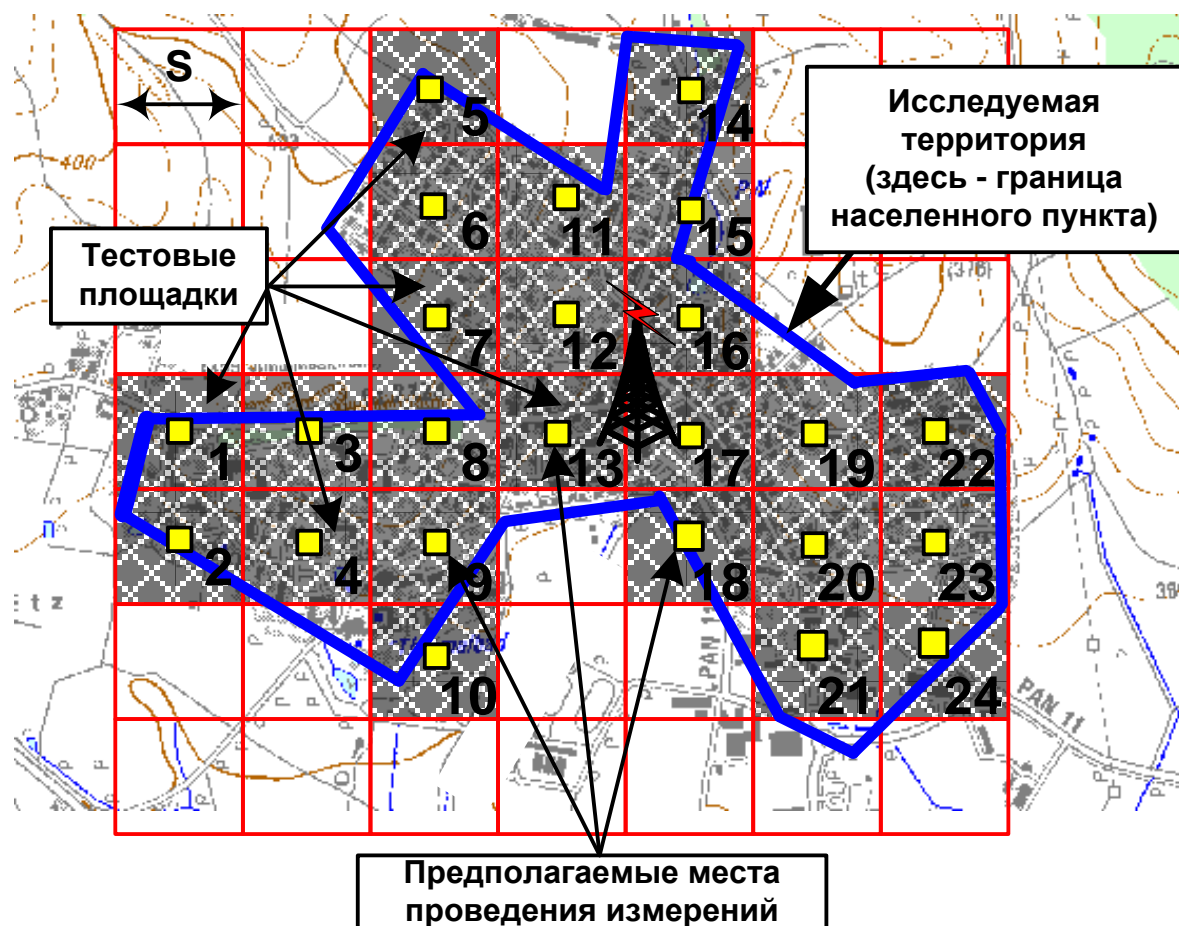


Рисунок 7 – Пример размещения сетки и плановых мест приема внутри исследуемой зоны.

3.2.1.4 Если измерения проводят в населенном пункте с многоэтажной застройкой, то измерительная антенна должна располагаться на уровне крыш доминирующих в окрестности данного места приема зданий. При проведении измерений в сельской местности или пригороде, где в основном имеет место малоэтажная застройка, используют подвижной измерительный комплекс в режиме фиксированного приема с установленной на высоте 10 метров приемной антенной.

3.2.1.5 Составляют расписание проведения измерений.

3.2.2 Порядок выполнения, обработки и представления результатов измерений

3.2.2.1 В соответствии с расписанием проведения измерений перемещают подвижный измерительный комплекс, укомплектованный оборудованием согласно п. 2.2 и п. 2.3 данной методики, в плановое место приема тестовой площадки.

3.2.2.2 Уточняют положение мест проведения измерений (по возможности – отсутствие локальных препятствий в направлении на передатчик, минимум местных мешающих предметов и т. п.).

3.2.2.3 В условиях сельской местности или в условиях малоэтажной застройки приемную антенну устанавливают на мачту, ориентируют по поляризации и поднимают на высоту 10 м.

При многоэтажной застройке в зоне с неустойчивым приёмом в случае недостаточного уровня приёма сигнала на 10 м измерения проводят с использованием штатива с креплением для приемной антенны. Штатив устанавливают на крыше наиболее высокого дома в окрестностях выбранной малой зоны. К штативу крепят приемную антенну, после чего антенну ориентируют по поляризации и поднимают на высоту не менее 2 м над уровнем крыши.

3.2.2.4 В каждом месте приема записывают текущие координаты. Зная координаты исследуемой станции, по карте местности определяют азимут на станцию НЦТВ (расчетный азимут прихода сигнала).

3.2.2.5 Поворачивая антенну в горизонтальной плоскости, определяют направление прихода сигнала максимального уровня, наличие/отсутствие помех.

Азимут прихода сигнала определяют с помощью компаса. Для этого измеряется азимутальный угол, по которому направлена несущая стрела (траверса) приемной антенны. Истинный (географический) азимут прихода сигнала определяют по формуле:

$$A_{и} = A_{м} + \gamma + \Delta\psi, \quad (4)$$

где: $A_{и}$ – истинный (географический) азимут прихода сигнала;

$A_{м}$ – измеренный по компасу магнитный азимут несущей стрелы приемной антенны (траверсы);

γ – склонение магнитной стрелки (магнитное склонение) – угол между истинным (географическим) и магнитным меридианами; магнитное склонение считается положительным, если северный конец магнитной стрелки компаса отклонен к востоку от географического меридиана, и отрицательным – если к западу;

$\Delta\psi$ – угол в горизонтальной плоскости между направлением основного лепестка диаграммы направленности и несущей стрелой (траверсой) приемной антенны.

Если в плановом месте приема выполняется хотя бы одно из условий:

- реальное значение азимута прихода полезного сигнала не совпадает с расчетным значением азимута на ТВ-станцию (отклонение превышает $\pm 15^\circ$),
- зафиксировано, что в месте приема присутствует помеха,

то делают соответствующую запись в журнале измерений и, для получения более достоверных результатов измерений, намечают дополнительные места приема, так чтобы общее число мест приема для данной тестовой площадки было не менее 5. Дополнительные места приема должны быть размещены как можно более равномерно на территории исследуемой площадки.

3.2.2.6 Последовательно в каждом плановом месте приема в соответствии с п. 3.2.2.5 решают вопрос о необходимости проведения дополнительных измерений внутри данной тестовой площадки.

3.2.2.7 Последовательно в каждом месте приема устанавливают антенну в направлении прихода полезного сигнала с максимальным уровнем и выполняют измерения параметров принимаемого сигнала в соответствии с п. 3.2.3. Результаты измерений сохраняют для дальнейшей обработки.

3.2.2.8 Выполняют действия по п.п. 3.2.2.1 - 3.2.2.7 для всех мест приема.

3.2.2.9 Выполняют обработку результатов измерений параметров в соответствии с п. 3.2.4.

3.2.3 Выполнение измерений параметров принимаемого сигнала

3.2.3.1 Измерения проводят для выбранного PLP.

3.2.3.2 В каждом месте приема в течение 60 секунд с помощью СПО, в соответствии с Приложением А и документацией на используемое оборудование, в каждом 2-х секундном интервале проводят измерение напряженности электромагнитного поля E_{ii} и записывают огибающую спектра сигнала. Затем, в соответствии с Приложением Б, вычисляют нормированную напряженность поля $E_{ii}^{\text{норм}}$. По 30-ти полученным значениям E_{ii} и $E_{ii}^{\text{норм}}$ определяют медианное значение измеренной и нормированной напряженности электромагнитного поля $E_{\text{мп}i}$ и $E_{\text{мп}i}^{\text{норм}}$ в данном месте приема.

3.2.3.3 В каждом месте приема по окончании измерений напряженности поля в течение 60 секунд определяют коэффициент ошибок по битам после декодера LDPC. Измерение параметра $LBER_{\text{мп}i}$ производят в соответствии с документацией на используемое оборудование.

При невозможности проведения измерений в месте приема параметра $LBER_{\text{мп}i}$, оператор дает субъективную оценку качества изображения принимаемого DVB-T2 сигнала на не менее трех тестовых бытовых приемниках, удовлетворяющих требованиям п. 2. Для этого выход с приемной антенны последовательно подключают к каждому тестовому приемнику и далее дают оценку качества изображения для каждого приемника по окончании просмотра отрывка длительностью не менее 60 секунд.

3.2.4 Обработка результатов измерений

3.2.4.1 Для выбранного PLP определяют принадлежность каждого места приема к зоне обслуживания станции НЦТВ:

а) экспериментально полученное медианное значение $E_{\text{мп}i}^{\text{норм}}$ каждого места приема сравнивают с минимальной медианной напряженностью поля $E_{\text{мед}}(X\%)$ (см. Приложение В). Если $E_{\text{мп}i}^{\text{норм}} \geq E_{\text{мед}}(X\%)$, то считают, что место приема по данному критерию принадлежит зоне обслуживания;

б) экспериментально полученное значение $LBER_{m\pi i}$ сравнивают с пороговым значением равным 10^{-7} . Если $LBER_{m\pi i} \leq 10^{-7}$, то считают, что место приема по данному критерию принадлежит зоне обслуживания.

Если во время измерений параметра $LBER_{m\pi i}$ наблюдался сбой, в результате которого процесс измерения $LBER$ начинался заново, или если за время наблюдения измеренное значение $LBER_{m\pi i}$ превысило порог 10^{-7} , то считают, что данное место приема не принадлежит зоне обслуживания.

При субъективной оценке качества принимаемого ТВ-сигнала на экране телевизора за все время наблюдений ни для одного приемника не должно быть зафиксировано наличие артефактов при показе. В ином случае считают, что место приема не принадлежит зоне обслуживания.

3.2.4.2 Если в месте приема выполняют указанные в п. 3.2.4.1 требования, то оно принадлежит зоне обслуживания и его помечают на карте местности зеленым цветом, в противном случае – красным цветом (см. рисунок 8).

3.2.4.3 Если при измерениях в плановом месте приема зафиксирован сигнал только от одного передатчика и выполняется хотя бы одно из условий:

- основной канал приема определился как канал Релея (приложение Б);
- выполняется неравенство:

$$E_{m\pi i}^{\text{норм}} < E_{med}(X\%) + 15 \text{ дБ}, \quad (5)$$

то, для получения более достоверных результатов измерений, намечают дополнительные места приема так, чтобы общее число мест приема для данной тестовой площадки было не менее 5. Дополнительные места приема должны быть размещены как можно более равномерно на территории исследуемой площадки.

3.2.4.4 Каждую тестовую площадку помечают цветом, который соответствует цвету большинства мест приема внутри данной тестовой площадки.

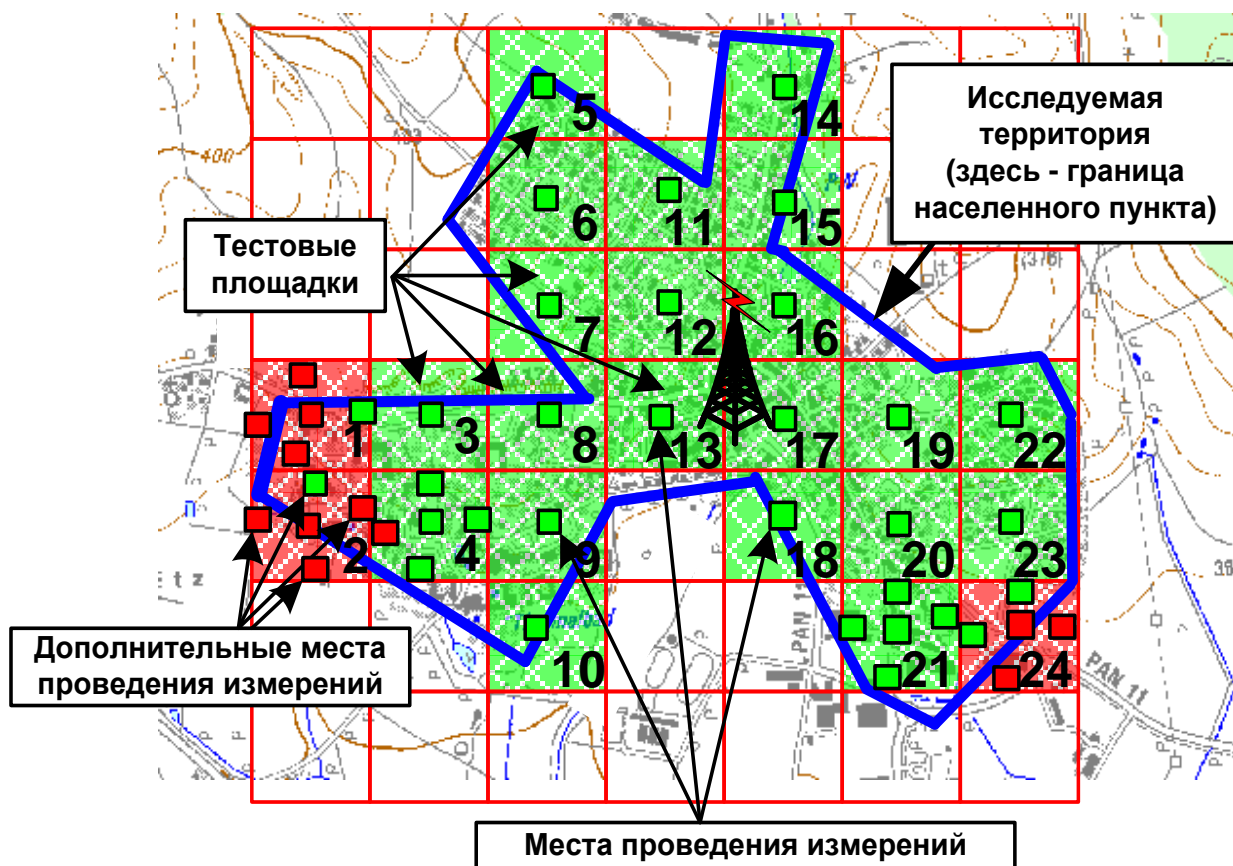


Рисунок 8 – Пример представления результатов измерений.

3.2.4.5 При необходимости вычисляют процент охвата исследуемой территории, где обеспечивается требуемое качество приема:

- за 100% принимается общее число тестовых площадок на исследуемой территории;
- процент охвата $P, \%$ в заданных границах (например, населенного пункта или его части) рассчитывают по формуле:

$$P, \% = (m^*/m) \cdot 100\%, \quad (6)$$

где:

m^* – количество тестовых площадок на заданной территории, где параметры сигнала соответствуют указанным выше критериям;

m – общее число тестовых площадок на заданной территории.

Для примера на рисунке 8: $P, \% = (21/24) \cdot 100 = 87,5\%$.

3.2.5 Представление результатов измерений

3.2.5.1 По результатам измерений параметров станции НЦТВ составляют протоколы измерений по установленной форме (см. Приложение Д).

3.2.5.2 Результаты измерений по определению реального охвата заданных областей внутри зоны покрытия представляют в виде плана местности территории, с местами, где проводились измерения (аналогично рисунку 8).

3.3 Представление результатов определения зоны обслуживания передающей станции НЦТВ для фиксированного приема

Зона обслуживания передающей станции НЦТВ определяется как суммарная зона, полученная нанесением на карту местности границ зоны покрытия в результате выполнения действий в соответствии с п. 3.1 и результатов обследований территорий, в которых проводились измерения в соответствии с п. 3.2.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ
СИГНАЛА DVB-T2

А.1 Измерения напряженности электромагнитного поля сигнала DVB-T2 для фиксированного приема должны проводиться на соответствующей измерительной установке (см. п. 2).

А.2 Измерительная антенна должна располагаться в дальней зоне излучения антенны станции НЦТВ на расстоянии R , определяемом по формуле:

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda}, \quad (\text{A.1})$$

где: D – линейный размер апертуры антенны станции цифрового вещания в плоскости поляризации излучения, а λ – длина волны излучения.

А.3 В соответствии с руководством по эксплуатации на измерительный прибор устанавливаются следующие параметры:

- центральную частоту, F_c (FREQ) – равную номинальной центральной частоте ТВ-канала;
- полоса обзора (SPAN) – от 8 до 10 МГц;
- полоса пропускания (RBW) – в пределах от 30 до 100 кГц;
- тип фильтра полосы пропускания (RBW) – нормальный (Normal);
- полоса видео фильтра (VBW=3 RBW) – в пределах от 100 до 300 кГц;
- период развертки (Sweep time): для фиксированного приема: – 2 с;
- детектор – среднеквадратический (RMS);
- режим отображения (TRACE) – “очистить/записать” (Clear/Write);
- единица отображения результата измерения (Unit) – дБ (отн. 1 мкВ).

А.4 Выбирают режим измерения мощности в канале (Power channel) и устанавливают ширину полосы канала (Channel bandwidth) равную (для ТВ-канала с номинальной полосой частот 8 МГц):

- 7,77 МГц для режимов 16k, 32k с расширенным спектром (extended);
- 7,71 МГц для режимов для режима 8k с расширенным спектром (extended);
- 7,61 МГц – для остальных режимов.

А.5 В соответствии с руководством по эксплуатации выполняют процедуру измерений напряжения сигнала $U_{изм}$ в дБ (отн. 1 мкВ).

А.6 Электрическую составляющую $E_{и}$ напряженности электромагнитного поля рассчитывают по формуле:

$$E_{и} = U_{изм} + K_{к} , \quad (A.2)$$

где:

$E_{и}$ - электрическая составляющая напряженности электромагнитного поля, дБ (отн. 1 мкВ/м);

$U_{изм}$ - измеренное значение напряжения, дБ (отн. 1 мкВ);

$K_{к}$ - коэффициент калибровки измерительной антенны совместно со штатным кабелем на частоте излучения, дБ (отн. 1/м).

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ
СИГНАЛОВ СТАНЦИИ НЦТВ
И ТИПА КАНАЛА ПРИЕМА

Б.1 Определение нормированной электрической составляющей $E_{и}^{норм}$ напряженности электромагнитного поля

Нормированную электрическую составляющую $E_{и}^{норм}$ напряженности электромагнитного поля сигналов станции НЦТВ в месте приема определяют следующим образом [4]:

- в месте приема параллельно с измерением напряжения сигнала $U_{изм}$ на входе измерительного приемника делают запись огибающей спектра сигнала;
- вычисляют стандартное отклонение огибающей спектра (σ_{sp}) сигнала на интервале частот от $F_c - 3,8$ МГц до $F_c + 3,8$ МГц по формуле:

$$\sigma_{sp} = \sqrt{\frac{(P_1 - \mu)^2 + (P_2 - \mu)^2 + \dots + (P_n - \mu)^2}{n - 1}}, \quad (Б.1)$$

где:

n – количество отсчетов на интервале частот от $F_c - 3,8$ МГц до $F_c + 3,8$ МГц (F_c – центральная частота ТВ-канала),

$P_1 \dots P_n$ – значения отсчетов в спектре сигнала, в (дБ(мкВ) или дБм),

$\mu = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$ – среднее арифметическое значение;

- в соответствии с Приложением А (п. А.6) рассчитывают электрическую составляющую $E_{и}$ напряженности электромагнитного поля;
- определяют поправочный коэффициент C_{σ} по формуле:

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

где: $C/N_{Rayleigh}$ и C/N_{Gauss} – значения C/N , приведенные в Таблицах Б.2-Б.7, соответственно для канала приема Гаусса и Рэля;

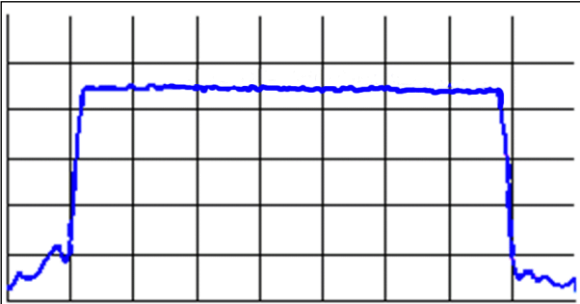
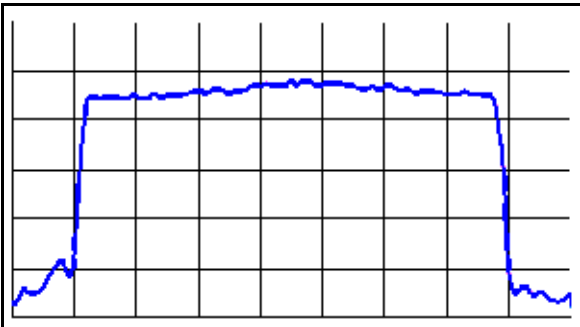
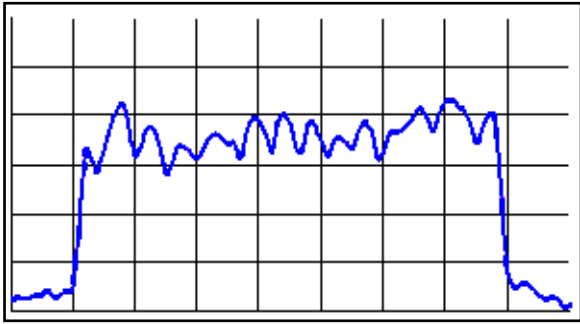
- вычисляют нормированную электрическую составляющую $E_{и}^{норм}$ напряженности электромагнитного поля сигналов радиопередатчика станции НЦТВ по формуле:

$$E_{и}^{норм} = E_{и} - C_{\sigma}. \quad (Б.3)$$

Б.2 Определение типа канала приема

Тип канала приема в зависимости от полученного значения параметра σ_{sp} определяют в соответствии с таблицей Б.1.

Таблица Б.1 – Тип канала приема.

Наименование типа канала приема	Значение σ_{sp}	Вид спектра
канал Гаусса	от 0 до 1 дБ включительно	
канал Райса	от 1 до 3 дБ	
канал Рэлея	Больше или равно 3 дБ	

Б.3 Требуемые системой DVB-T2 отношения параметра C/N

В таблицах Б.2 - Б.7 даны минимальные значения параметра C/N (дБ), требуемые системой DVB-T2 (значения при которых достигаются LBER = 10^{-7} после декодера LDPC) [8].

Таблица Б.2 – Итоговые значения C/N для канала Гаусса для блока LDPC длиной 64 800 бит

Модуляция	Кодовая скорость	Итоговые значения C/N для различных значений PP (Pilot Pattern), дБ				
		PP1, PP2	PP3, PP4	PP5, PP6	PP7	PP8
QPSK	1/2	3,5	3,1	2,6	2,4	2,5
QPSK	3/5	4,7	4,3	3,8	3,6	3,7
QPSK	2/3	5,6	5,2	4,7	4,5	4,6
QPSK	3/4	6,6	6,2	5,7	5,5	5,6
QPSK	4/5	7,2	6,8	6,3	6,1	6,2
QPSK	5/6	7,7	7,3	6,8	6,6	6,7
16-QAM	1/2	8,7	8,3	7,8	7,6	7,7
16-QAM	3/5	10,1	9,7	9,2	9	9,1
16-QAM	2/3	11,4	11	10,5	10,3	10,4
16-QAM	3/4	12,5	12,1	11,6	11,4	11,5
16-QAM	4/5	13,3	12,9	12,4	12,2	12,3
16-QAM	5/6	13,8	13,4	12,9	12,7	12,8
64-QAM	1/2	13	12,6	12,1	11,9	12
64-QAM	3/5	14,8	14,4	13,9	13,7	13,8
64-QAM	2/3	16,2	15,8	15,3	15,1	15,2
64-QAM	3/4	17,7	17,3	16,8	16,6	16,7
64-QAM	4/5	18,8	18,3	17,8	17,6	17,7
64-QAM	5/6	19,4	19	18,4	18,2	18,3
256-QAM	1/2	17	16,6	16,1	15,9	16
256-QAM	3/5	19,4	19	18,4	18,2	18,3
256-QAM	2/3	20,9	20,4	19,9	19,7	19,8
256-QAM	3/4	23	22,5	22	21,7	21,9
256-QAM	4/5	24,4	23,9	23,4	23,2	23,3
256-QAM	5/6	25,3	24,7	24,2	23,9	24,1

Таблица Б.3 – Итоговые значения C/N для канала Гаусса для блока LDPC длиной 16 200 бит

Модуляция	Кодовая скорость	Итоговые значения C/N для различных значений PP (Pilot Pattern), дБ				
		PP1, PP2	PP3, PP4	PP5, PP6	PP7	PP8
QPSK	1/2	3,2	2,8	2,3	2,1	2,2
QPSK	3/5	5	4,6	4,1	3,9	4
QPSK	2/3	5,9	5,5	5	4,8	4,9
QPSK	3/4	6,8	6,4	5,9	5,7	5,8
QPSK	4/5	7,4	7	6,5	6,3	6,4
QPSK	5/6	8	7,6	7,1	6,9	7
16-QAM	1/2	8	7,6	7,1	6,9	7
16-QAM	3/5	10,4	10	9,5	9,3	9,4
16-QAM	2/3	11,6	11,2	10,7	10,5	10,6
16-QAM	3/4	12,8	12,4	11,9	11,7	11,8
16-QAM	4/5	13,6	13,2	12,7	12,5	12,6
16-QAM	5/6	14,2	13,8	13,3	13,1	13,2
64-QAM	1/2	11,7	11,3	10,8	10,6	10,7
64-QAM	3/5	14,8	14,4	13,9	13,7	13,8
64-QAM	2/3	16,4	16	15,5	15,3	15,4
64-QAM	3/4	18,1	17,7	17,2	17	17,1
64-QAM	4/5	19,1	18,7	18,1	17,9	18
64-QAM	5/6	19,8	19,4	18,9	18,7	18,8
256-QAM	1/2	15,2	14,7	14,2	14	14,1
256-QAM	3/5	19,6	19,2	18,7	18,4	18,5
256-QAM	2/3	20,9	20,4	19,9	19,7	19,8
256-QAM	3/4	23,3	22,8	22,3	22,1	22,2
256-QAM	4/5	24,7	24,3	23,7	23,5	23,6
256-QAM	5/6	25,7	25,3	24,6	24,4	24,5

Таблица Б.4 – Итоговые значения C/N для канала Райса для блока LDPC длиной 64 800 бит

Модуляция	Кодовая скорость	Итоговые значения C/N для различных значений PP (Pilot Pattern), дБ				
		PP1, PP2	PP3, PP4	PP5, PP6	PP7	PP8
QPSK	1/2	3,7	3,3	2,8	2,6	2,7
QPSK	3/5	4,9	4,5	4	3,8	3,9
QPSK	2/3	5,9	5,5	5	4,8	4,9
QPSK	3/4	6,9	6,5	6	5,8	5,9
QPSK	4/5	7,5	7,1	6,6	6,4	6,5
QPSK	5/6	8,1	7,7	7,2	7	7,1
16-QAM	1/2	8,9	8,5	8	7,8	7,9
16-QAM	3/5	10,3	9,9	9,4	9,2	9,3
16-QAM	2/3	11,6	11,2	10,7	10,5	10,6
16-QAM	3/4	12,9	12,5	12	11,8	11,9
16-QAM	4/5	13,7	13,3	12,8	12,6	12,7
16-QAM	5/6	14,2	13,8	13,3	13,1	13,2
64-QAM	1/2	13,3	12,9	12,4	12,2	12,3
64-QAM	3/5	15,2	14,7	14,2	14	14,1
64-QAM	2/3	16,5	16,1	15,6	15,4	15,5
64-QAM	3/4	18	17,6	17,1	16,9	17
64-QAM	4/5	19,3	18,9	18,3	18,1	18,2
64-QAM	5/6	19,8	19,4	18,9	18,7	18,8
256-QAM	1/2	17,4	17	16,5	16,3	16,4
256-QAM	3/5	19,6	19,2	18,7	18,4	18,5
256-QAM	2/3	21,2	20,8	20,2	20	20,1
256-QAM	3/4	23,3	22,8	22,3	22,1	22,2
256-QAM	4/5	24,8	24,4	23,8	23,6	23,7
256-QAM	5/6	25,7	25,3	24,6	24,4	24,5

Таблица Б.5 – Итоговые значения C/N для канала Райса для блока LDPC длиной 16 200 бит

Модуляция	Кодовая скорость	Итоговые значения C/N для различных значений PP (Pilot Pattern), дБ				
		PP1, PP2	PP3, PP4	PP5, PP6	PP7	PP8
QPSK	1/2	3,4	3	2,5	2,3	2,4
QPSK	3/5	5,2	4,8	4,3	4,1	4,2
QPSK	2/3	6,2	5,8	5,3	5,1	5,2
QPSK	3/4	7,1	6,7	6,2	6	6,1
QPSK	4/5	7,7	7,3	6,8	6,6	6,7
QPSK	5/6	8,4	8	7,5	7,3	7,4
16-QAM	1/2	8,2	7,8	7,3	7,1	7,2
16-QAM	3/5	10,6	10,2	9,7	9,5	9,6
16-QAM	2/3	11,8	11,4	10,9	10,7	10,8
16-QAM	3/4	13,2	12,8	12,3	12,1	12,2
16-QAM	4/5	14	13,6	13,1	12,9	13
16-QAM	5/6	14,6	14,2	13,7	13,5	13,6
64-QAM	1/2	12	11,6	11,1	10,9	11
64-QAM	3/5	15,2	14,7	14,2	14	14,1
64-QAM	2/3	16,7	16,3	15,8	15,6	15,7
64-QAM	3/4	18,4	18	17,5	17,3	17,4
64-QAM	4/5	19,6	19,2	18,7	18,4	18,5
64-QAM	5/6	20,2	19,8	19,3	19,1	19,2
256-QAM	1/2	15,6	15,2	14,6	14,4	14,5
256-QAM	3/5	19,8	19,4	18,9	18,7	18,8
256-QAM	2/3	21,2	20,8	20,2	20	20,1
256-QAM	3/4	23,6	23,2	22,6	22,4	22,5
256-QAM	4/5	25,3	24,7	24,2	23,9	24,1
256-QAM	5/6	26,1	25,7	25	24,8	24,9

Таблица Б.6 – Итоговые значения C/N для канала Рэля для блока LDPC длиной 64 800 бит

Модуляция	Кодовая скорость	Итоговые значения C/N для различных значений PP (Pilot Pattern), дБ				
		PP1, PP2	PP3, PP4	PP5, PP6	PP7	PP8
QPSK	1/2	4,5	4,1	3,6	3,4	3,5
QPSK	3/5	6	5,6	5,1	4,9	5
QPSK	2/3	7,4	7	6,5	6,3	6,4
QPSK	3/4	8,7	8,3	7,8	7,6	7,7
QPSK	4/5	9,6	9,2	8,7	8,5	8,6
QPSK	5/6	10,4	10	9,5	9,3	9,4
16-QAM	1/2	10,2	9,8	9,3	9,1	9,2
16-QAM	3/5	11,8	11,4	10,9	10,7	10,8
16-QAM	2/3	13,3	12,9	12,4	12,2	12,3
16-QAM	3/4	14,9	14,5	14	13,8	13,9
16-QAM	4/5	16,2	15,8	15,3	15,1	15,2
16-QAM	5/6	17	16,6	16,1	15,9	16
64-QAM	1/2	15,1	14,6	14,1	13,9	14
64-QAM	3/5	16,9	16,5	16	15,8	15,9
64-QAM	2/3	18,3	17,9	17,4	17,2	17,3
64-QAM	3/4	20,4	20	19,5	19,3	19,4
64-QAM	4/5	22,1	21,6	21,1	20,9	21
64-QAM	5/6	23,1	22,6	22,1	21,9	22
256-QAM	1/2	19,5	19,1	18,5	18,3	18,4
256-QAM	3/5	21,7	21,3	20,8	20,5	20,6
256-QAM	2/3	23,4	23	22,4	22,2	22,3
256-QAM	3/4	25,9	25,5	24,8	24,6	24,7
256-QAM	4/5	28,1	27,4	26,9	26,7	26,8
256-QAM	5/6	29,6	29,2	28,3	28,1	28,2

Таблица Б.7 – Итоговые значения C/N для канала Рэля для блока LDPC длиной 16 200 бит

Модуляция	Кодовая скорость	Итоговые значения C/N для различных значений PP (Pilot Pattern), дБ				
		PP1, PP2	PP3, PP4	PP5, PP6	PP7	PP8
QPSK	1/2	4,2	3,8	3,3	3,1	3,2
QPSK	3/5	6,3	5,9	5,4	5,2	5,3
QPSK	2/3	7,7	7,3	6,8	6,6	6,7
QPSK	3/4	8,9	8,5	8	7,8	7,9
QPSK	4/5	9,8	9,4	8,9	8,7	8,8
QPSK	5/6	10,7	10,3	9,8	9,6	9,7
16-QAM	1/2	9,5	9,1	8,6	8,4	8,5
16-QAM	3/5	12,1	11,7	11,2	11	11,1
16-QAM	2/3	13,5	13,1	12,6	12,4	12,5
16-QAM	3/4	15,3	14,8	14,3	14,1	14,2
16-QAM	4/5	16,5	16,1	15,6	15,4	15,5
16-QAM	5/6	17,4	17	16,5	16,3	16,4
64-QAM	1/2	13,7	13,3	12,8	12,6	12,7
64-QAM	3/5	16,9	16,5	16	15,8	15,9
64-QAM	2/3	18,5	18,1	17,6	17,4	17,5
64-QAM	3/4	20,9	20,4	19,9	19,7	19,8
64-QAM	4/5	22,4	22	21,4	21,2	21,3
64-QAM	5/6	23,5	23,1	22,5	22,3	22,4
256-QAM	1/2	17,6	17,2	16,7	16,5	16,6
256-QAM	3/5	22	21,5	21	20,8	20,9
256-QAM	2/3	23,4	23	22,4	22,2	22,3
256-QAM	3/4	26,2	25,8	25,3	24,9	25
256-QAM	4/5	28,4	28	27,2	27	27,1
256-QAM	5/6	30	29,6	28,7	28,5	28,6

ТРЕБУЕМЫЕ СИСТЕМОЙ DVB-T2
МИНИМАЛЬНЫЕ МЕДИАННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ
НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ E_{med}

В.1 Минимальная медианная напряженность поля, требуемая системой DVB-T2

Для вычисления значений минимальной медианной плотности потока мощности и минимальной медианной напряженности поля для ТВ-канала с полосой частот 8 МГц используются следующие формулы:

$$P_n = F + 10 \log_{10} (k T_0 B)$$

$$P_{s \min} = C/N + P_n$$

$$A_a = G_D + 10 \log_{10} (1,64 \cdot \lambda^2 / 4\pi)$$

$$\varphi_{\min} = P_{s \min} - A_a + L_f$$

$$E_{\min} = \varphi_{\min} + 120 + 10 \log_{10} (120\pi) = \varphi_{\min} + 145,8$$

$$\varphi_{\text{med}} = \varphi_{\min} + P_{\text{mmn}} + C_l$$

$$E_{\text{med}} = \varphi_{\text{med}} + 120 + 10 \log_{10} (120\pi) = \varphi_{\text{med}} + 145,8,$$

где:

A_a – эффективный раскрыв антенны (дБм²);

C/N – отношение «Несущая/Шум», требуемое системой (дБ);

C_l – поправочный коэффициент местоположений (дБ);

E_{med} – минимальная медианная напряженность поля, планируемое значение (дБ(мкВ/м));

E_{\min} – минимальная напряженность поля в месте приема (дБ(мкВ/м));

G_D – усиление антенны относительно полуволнового диполя (дБ);

L_f – потери в фидере (дБ);

P_{mmn} – поправка на индустриальный шум (дБ);

φ_{\min} – минимальная плотность потока мощности в месте приема (дБ(Вт/м²));

φ_{med} – минимальная медианная плотность потока мощности, планируемое значение (дБ(Вт/м²));

λ – длина волны (м);

P_n – мощность шума на входе приемника (дБВт);

F – шум-фактор приемника (дБ);

K – постоянная Больцмана ($k = 1,38 \times 10^{-23}$) Дж/К;

T_0 – абсолютная температура ($T_0 = 290$ К);

B – ширина шумовой полосы приемника ($7,77 \times 10^6$ Гц для режимов 16к, 32к с расширенным спектром (extended); $7,71 \times 10^6$ для режима 8к с расширенным спектром(extended) и $7,61 \times 10^6$ Гц – для всех остальных режимов);

$P_{s\ min}$ – минимальная мощность сигнала на входе приемника (дБВт).

В.2 Поправка на индустриальный шум

Значения поправки на индустриальный шум приведены в таблице В.1.

Таблица В.1 – Значение поправки на влияние индустриального шума, в дБ.

Диапазон	P_{min} (дБ)
ОВЧ	1 дБ
УВЧ	0 дБ

В.3 Поправка на вероятность охвата местоположений

Расчет поправки на вероятность охвата местоположений C_l , предполагает логарифмически нормальное распределение отсчетов принимаемых сигналов, дБ:

$$C_l = \mu * \sigma,$$

где:

μ - коэффициент распределения; который рассчитывается следующим

образом:

$\mu = Q_i(1 - x/100)$, где Q_i - множитель, значения которого приведены в п.

В.4, а

x – процент местоположений, для которых требуется защита.

Коэффициент распределения μ равен 0 для 50%, 0,52 для 70%, 1,28 для 90%, 1,64 для 95% и 2,33 для 99% местоположений.

σ - стандартное отклонение отсчетов измерения, в дБ; для широкополосных сигналов стандартное отклонение в пределах крупных зон σ_1 определено равным 5,5 дБ [6].

Наиболее востребованные значения поправочного коэффициента местоположений даны в таблице В.2.

Таблица В.2 – Значение поправочного коэффициента местоположений, дБ.

Вероятность охвата мест, %	Фиксированный прием
50	<i>0</i>
70	<i>2,9</i>
90	<i>7,1</i>
95	<i>9,0</i>
99	<i>12,8</i>

В.4 Приблизительные значения обратного интегрального нормального распределения Q_i

Таблица В.3 – Приблизительные значения обратного интегрального нормального распределения Q_i [6] .

$q\%$	$Q_i (q/100)$	$q\%$	$Q_i (q/100)$	$q\%$	$Q_i (q/100)$	$q\%$	$Q_i (q/100)$
1	2,327	26	0,643	51	-0,025	76	-0,706
2	2,054	27	0,612	52	-0,050	77	-0,739
3	1,881	28	0,582	53	-0,075	78	-0,772
4	1,751	29	0,553	54	-0,100	79	-0,806
5	1,645	30	0,524	55	-0,125	80	-0,841
6	1,555	31	0,495	56	-0,151	81	-0,878
7	1,476	32	0,467	57	-0,176	82	-0,915
8	1,405	33	0,439	58	-0,202	83	-0,954
9	1,341	34	0,412	59	-0,227	84	-0,994
10	1,282	35	0,385	60	-0,253	85	-1,036
11	1,227	36	0,358	61	-0,279	86	-1,080
12	1,175	37	0,331	62	-0,305	87	-1,126
13	1,126	38	0,305	63	-0,331	88	-1,175
14	1,080	39	0,279	64	-0,358	89	-1,227
15	1,036	40	0,253	65	-0,385	90	-1,282
16	0,994	41	0,227	66	-0,412	91	-1,341
17	0,954	42	0,202	67	-0,439	92	-1,405
18	0,915	43	0,176	68	-0,467	93	-1,476
19	0,878	44	0,151	69	-0,495	94	-1,555
20	0,841	45	0,125	70	-0,524	95	-1,645
21	0,806	46	0,100	71	-0,553	96	-1,751
22	0,772	47	0,075	72	-0,582	97	-1,881
23	0,739	48	0,050	73	-0,612	98	-2,054
24	0,706	49	0,025	74	-0,643	99	-2,327
25	0,674	50	0,000	75	-0,674		

В.5 Табличные значения минимальной медианной напряженности поля

Таблица В.4 – Табличные значения минимальной медианной напряженности поля для режима 64QAM 4/5 PP4 32k ext GI = 1/16 (блок LDPC длиной 64 800 бит).

№ ТВ-диапазона	№ ТВ-канала	Центр. частота, МГц	Гаусс	Райс	Релей
III	6	178	45,3	45,9	48,6
	7	186	45,7	46,3	49,0
	8	194	46,1	46,7	49,4
	9	202	46,4	47,0	49,7
	10	210	46,8	47,4	50,1
	11	218	47,1	47,7	50,4
	12	226	47,4	48,0	50,7
IV	21	474	50,8	51,4	54,1
	22	482	51,0	51,6	54,3
	23	490	51,1	51,7	54,4
	24	498	51,3	51,9	54,6
	25	506	51,4	52,0	54,7
	26	514	51,5	52,1	54,8
	27	522	51,7	52,3	55,0
	28	530	51,8	52,4	55,1
	29	538	51,9	52,5	55,2
	30	546	52,1	52,7	55,4
	31	554	52,2	52,8	55,5
	32	562	52,3	52,9	55,6
	33	570	52,4	53,0	55,7
34	578	52,6	53,2	55,9	
V	35	586	52,7	53,3	56,0
	36	594	52,8	53,4	56,1
	37	602	52,9	53,5	56,2
	38	610	53,0	53,6	56,3
	39	618	53,1	53,7	56,4
	40	626	53,3	53,9	56,6

№ ТВ-диапазона	№ ТВ-канала	Центр. частота, МГц	Гаусс	Райс	Релей
	41	634	53,4	54,0	56,7
	42	642	53,5	54,1	56,8
	43	650	53,6	54,2	56,9
	44	658	53,7	54,3	57,0
	45	666	53,8	54,4	57,1
	46	674	53,9	54,5	57,2
	47	682	54,0	54,6	57,3
	48	690	54,1	54,7	57,4
	49	698	54,2	54,8	57,5
	50	706	54,3	54,9	57,6
	51	714	54,4	55,0	57,7
	52	722	54,5	55,1	57,8
	53	730	54,6	55,2	57,9
	54	738	54,7	55,3	58,0
	55	746	54,8	55,4	58,1
	56	754	54,9	55,5	58,2
	57	762	55,0	55,6	58,3
	58	770	55,1	55,7	58,4
	59	778	55,1	55,7	58,4
	60	786	55,2	55,8	58,5

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИВОЙ,
АППРОКСИМИРУЮЩЕЙ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ НАПРЯЖЕННОСТИ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ВДОЛЬ ВЫБРАННОГО НАПРАВЛЕНИЯ
ОТ ИССЛЕДУЕМОЙ ПЕРЕДАЮЩЕЙ СТАНЦИИ
(LOG-DISTANCE PATH LOSS MODEL)

Модель, лежащая в основе данной методики, основана на предположении, что среднее значение уровня сигнала обратно пропорционально расстоянию между передатчиком и приемником и имеет вид [9]:

$$P(d_1) \sim (1/d_1)^n, \quad (\text{Г.1})$$

где n – показатель степени, численное значение которого зависит от условий распространения электромагнитной волны вдоль выбранного направления.

Данное предположение подтверждают многочисленные теоретические выводы и экспериментальные факты. Для свободного пространства данный показатель степени n равен 2. При наличии препятствий значение n увеличивается (например, для города, в зависимости от типа застройки и ряда других параметров эта величина лежит обычно в пределах от 2 до 5 [9]). Исходя из этого, можно считать, что отношение уровней двух сигналов (в абсолютных величинах) вдоль какого-то направления равно отношению:

$$P_{\text{абс}}(d_1) / P_{\text{абс}}(d_2) \approx (d_2/d_1)^n, \quad (\text{Г.2})$$

или в децибелах:

$$P(d_2) = P(d_1) - 10 \cdot n \cdot \log_{10}(d_2/d_1), \quad (\text{Г.3})$$

где $P(d_1)$ и $P(d_2)$ – уровень сигнала (в дБ) на расстоянии соответственно d_1 и d_2 .

В качестве $P(d_1)$ выбирается первое от передатчика измерение уровня сигнала, которое обязательно должно быть сделано в пределах прямой видимости на исследуемую станцию и в зоне облучения основного лепестка диаграммы направленности передающей антенны.

Ниже дан конкретный пример для пояснения всего вышесказанного.

Задача: Допустим, двигаясь от передатчика вдоль некоторого направления и проводя измерения уровня сигнала, мы получили, указанные в Таблице Г.1, величины. Требуется найти по полученным величинам значение n и определить для данного случая вид кривой $P(d_2)$.

Таблица Г.1 – Пример полученных результатов измерений.

Расстояние от передатчика, м	Измеренный уровень сигнала, дБм
100	0 дБм
200	-20 дБм
1000	-35 дБм
3000	-70 дБм

Решение: В данном примере: $P(d_1) = 0$ дБм и $d_1 = 100$ м. Вид функции определяющей сумму квадратов ошибки дается как:

$$J(n) = \sum_{i=1}^k (P_i - \tilde{P}_i)^2, \quad (\text{Г.4})$$

где P_i – измеренное значение уровня сигнала;

\tilde{P}_i – значение уровня сигнала, полученное из формулы (Г.3).

Отсюда находим $J(n)$:

$$\begin{aligned} J(n) &= (0 - (0 - 10 \cdot n \cdot \log_{10}(100/100)))^2 + (-20 - (0 - 10 \cdot n \cdot \log_{10}(200/100)))^2 + \\ &+ (-35 - (0 - 10 \cdot n \cdot \log_{10}(1000/100)))^2 + (-70 - (0 - 10 \cdot n \cdot \log_{10}(3000/100)))^2 \\ &= (0-0)^2 + (-20-(0-3n))^2 + (-35-(0-10n))^2 + (-70-(0-14.77n))^2 \\ &= 6525 - 2887.8 n + 327.153n^2. \end{aligned}$$

Минимум функции $J(n)$ определяется из условия $\frac{dJ(n)}{dn} = 0$.

$$\frac{dJ(n)}{dn} = 654.306 n - 2887.8 = 0 \Rightarrow n = 4.4.$$

Отсюда следует, что уравнение, описывающее уровень сигнала (в дБм) на расстоянии d_2 , имеет вид (см. рисунок Г.1):

$$P(d_2) = 0 - 10 \cdot 4.4 \cdot \log_{10}(d_2/100) = -44 \cdot \log_{10}(d_2/100).$$

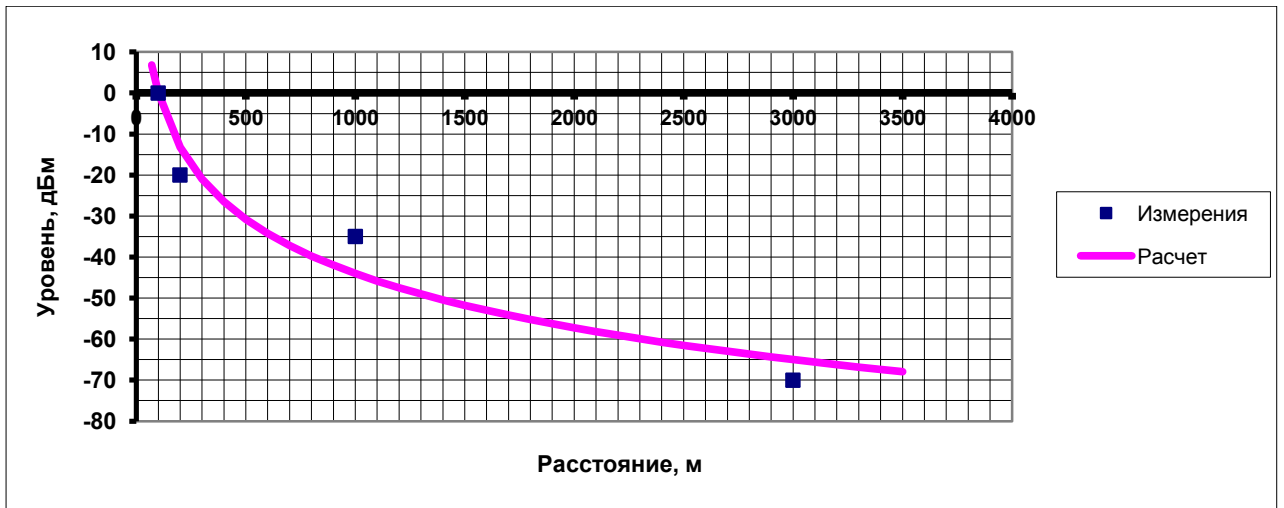


Рисунок Г.1 – Графическое представление кривой $P(d_2)$.

Кратко формула для определения n выглядит следующим образом:

$$n = \frac{\sum_i [P(d_1) - P(d_i)] \times 10 \lg \frac{d_i}{d_1}}{\sum_i (10 \lg \frac{d_i}{d_1})^2}. \quad (\text{Г.5})$$

ФОРМЫ ПРОТОКОЛОВ

Таблица - Результаты измерения зоны покрытия

№ направления, азимут, градус	№ малой зоны	Расстояние от центра малой зоны до ПРД, км	№ места приема	Координаты места приема		Азимут на передатчик		Наличие помех в месте приема, +/-	Значения параметров сигнала передатчика				Принадлежность МП зоне обслуживания (вероятность охвата:% мест), +/-	Принадлежность МЗ зоне обслуживания (вероятность охвата:% мест), +/-	Расстояние от ПРД до границы зоны покрытия (вероятность охвата:% мест), км
				Широта	Долгота	Расчетный, градус	Измеренный, градус		$E_{изм\ мед\ мпi}$, дБмкв/м	$E_{норм\ мед\ мпi}$, дБмкв/м	$LBER_{мпi}$ (для выбранного PLP)	Наличие артефактов при показе (для выбранного PLP)			
1	1		1												
			...												
			i												
	...		1												
			...												
			i												
n		1													
		...													
		i													
2	1		1												
			...												
			i												
	2		1												
			...												
			i												

7.2. Карта местности с нанесенной зоной покрытия (вероятность охвата: % мест приема) приведена на рисунке.

Рисунок - Карта местности с нанесенной зоной покрытия (вероятность охвата: % мест приема)

8. Приложения:

9. Измерения выполнил(и):

подпись

И.О. Фамилия

подпись

И.О. Фамилия

Таблица – Результаты обследования заданных областей (населенных пунктов)

Наименование населенного пункта	№ тестовой площадки	№ места приема	Координаты места приема		Азимут на передатчик		Наличие помех в месте приема, +/-	Значения параметров сигнала передатчика				Принадлежность МП зоне обслуживания (вероятность охвата: % мест), +/-	Принадлежность тестовой площадки зоне обслуживания (вероятность охвата: % мест), +/-	Охват населенного пункта, В %
			Широта	Долгота	Расчетный, градус	Измеренный, градус		$E_{\text{изм мпi}}$, дБмкв/м	$E_{\text{норм мпi}}$, дБмкв/м	$LBER_{\text{мпi}}$ (для выбранного PLP)	Наличие артефактов при показе (для выбранного PLP)			
А	1	1												
		...												
	...	1												
		...												
	n	1												
		...												
В	1	1												
		...												
	2	1												
		...												
		i												

7.2. Карта местности с нанесенными местами проведения измерений приведена на рисунке.

Рисунок - Карта местности с нанесенными местами проведения измерений

8. Приложения:

9. Измерения выполнил(и):

подпись

И.О. Фамилия

подпись

И.О. Фамилия

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ МАЛЫХ ЗОН И МЕСТ ПРИЕМА
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА
ПЕРЕДАЮЩЕЙ СТАНЦИИ НАЗЕМНОГО ЦИФРОВОГО ТВ-ВЕЩАНИЯ
СТАНДАРТА DVB-T2**

Известно, что из-за влияния местных предметов, неоднородностей среды распространения радиоволн, разного рода помех и т.д. параметры электромагнитного поля сигнала цифрового ТВ в зоне покрытия в общем случае нестабильны и описываются статистическими законами.

Для дальнейшей обработки результатов измерений уровней поля ТВ-сигнала на заданной территории необходимо иметь полученные данные в виде усредненных за оговоренный период величин.

Усреднение проводят различными способами, но самым удобным и быстрым является способ определения медианных значений параметров, который заключается в поочередном попарном отбрасывании из имеющегося банка данных наибольшего и наименьшего значений интересующего исследователя параметра, например, напряженности поля сигнала.

Опыт показывает, что, как правило, на нескольких экспериментальных площадках (получивших название «малых зон»), расположенных в безлесной равнинной или слабовсхолмленной местности на одинаковом расстоянии от передатчика (и в случае круговой ДНА в горизонтальной плоскости и исправного оборудования передающей станции), медианные значения напряженности поля мало отличаются друг от друга (с приемлемой для практики разницей).

Трудности появляются при решении ряда подобных задач в условиях пересеченной, холмистой и особенно - гористой местности, с протяженными лесными массивами, в местах протяженных высоковольтных ЛЭП и т.п., а также в крупных населенных пунктах с многоэтажной застройкой. Сильно осложняет получение надежных результатов исследований и временной фактор.

Для примера на рисунке Е.1 представлен типичный случай взаимного расположения передающей станции, нескольких населенных пунктов с многоэтажной и малоэтажной застройкой, дорог и границы расчетной зоны покрытия, то есть, без воздействия мешающих передатчиков и по уровню минимальной медианной напряженности поля $E_{\text{мин мед}}$.

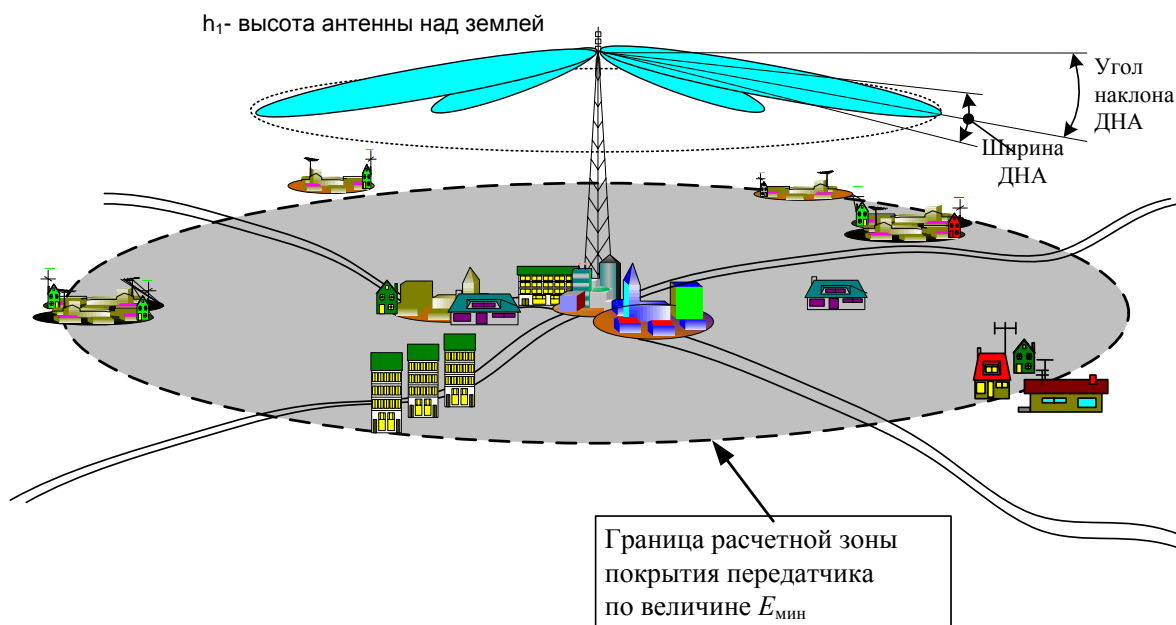


Рисунок Е.1 – Основные исходные данные при решении задач системы DVB-T2.

Первостепенным действием исследований при фиксированном приеме в зоне полезного передатчика системы DVB-T2 является расстановка малых зон на заданной территории и обоснование их расположения относительно друг друга.

Немаловажным фактором при исследованиях и измерениях ТВ-сигнала является максимальное приближение условий измерений к штатным условиям приема телезрителями:

- соблюдение размещения измерительных антенн на рекомендуемой техническими документами высоте (для фиксированного приема при многоэтажной застройке измерительные антенны должны быть на уровне крыш, а в условиях 1-2-этажной застройки – на высоте 10 м над земной поверхностью);
- параметры измерительной антенны (в том числе, и помехозащищенность) должны соответствовать Рекомендациям МСЭ;
- потери в кабеле снижения, другие параметры измерительной установки должны отражать соответствующие характеристики оборудования телезрителя (или рекомендованных МСЭ), либо должен иметь место учет влияния иных значений этих характеристик (потери на согласование и др.).

Е.1 Влияние внешних факторов на выбор малых зон

Е.1.1 Влияние отраженного от земли луча

Решить задачу большого разброса медианных значений напряженности поля малых зон на разных направлениях от передатчика и тем самым получить основание по сокращению количества малых зон, очевидно, можно лишь в результате специально организованных исследований. Теоретическая часть этих исследований должна найти закономерности распределения поля от одной малой зоны к соседним, изучить изменение качества приема телевизионного сигнала при различных условиях распространения радиоволн. К настоящему времени, например, известно влияние на характер поля в месте приема явления интерференции нижней волны (переотраженной) ровной подстилающей поверхностью и верхней (прямой) [10,11].

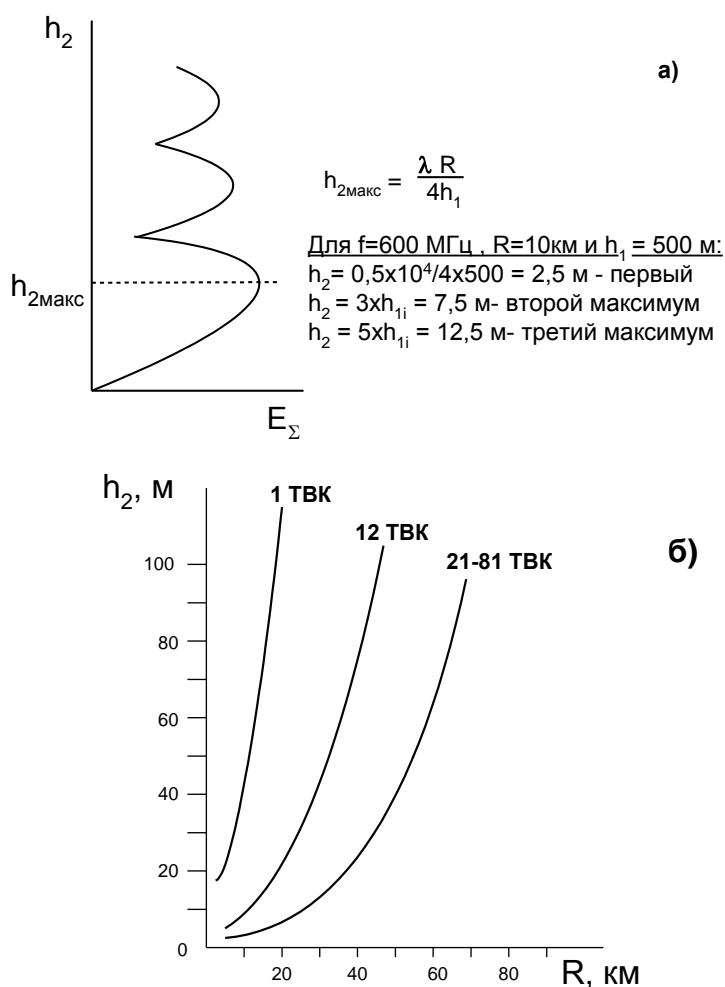


Рисунок Е.2 – Возникновение интерференционной картины в месте приема;

а) чередование максимумов и минимумов по высоте;

б) высота расположения первого максимума на разных ТВ каналах.

Если измерительную антенну поднимать, то можно фиксировать (рисунок Е.2) чередующиеся максимумы (где фазы двух волн совпадают, а амплитуды складываются) и минимумы (при вычитании амплитуд).

Кроме интерференции по вертикали подобное явление может иметь место и вдоль трассы. Геометрическое сложение и вычитание составляющих поля при распространении радиоволн над относительно гладкой поверхностью, сопровождающееся изменениями напряженности поля, фиксируется при измерениях и увеличивает разброс результатов.

Как было упомянуто, рассмотренные «пучности» и минимумы уровня поля максимально проявляются при ровной и хорошо проводящей подстилающей поверхности.

Если учесть, что указания по выбору площадок для измерений (малых зон) настоятельно рекомендуют использовать ровные открытые места, то при приеме сигнала цифрового ТВ следовало бы контролировать возможность возникновения интенсивной отраженной землей волны.

Е.1.2 Влияние лесных массивов

При назначении конкретных малых зон на местности для выполнения задачи определения границы зоны покрытия рекомендуется их выбирать по возможности на открытых ровных местах вдали от строений и токопроводящих сооружений, особенно в направлении на передатчик.

На местности для выбора малых зон следует избегать нехарактерных для данной территории возвышенностей и глубоких низин.

Как показывает практика, весьма редко удается отыскать площадку по параметрам, близкую к рекомендованной в виде квадрата с размерами 100x100 метров [8], чаще всего приходится довольствоваться дорогами, уходящими от основного шоссе в стороны, без растущих по обочинам деревьев и без проводных линий.

Следует избегать измерений в лесных массивах, сильно поглощающих энергию сигнала и искажающих спектр (рисунок Е.3).

а)



б)



Рисунок Е.4 – Пример выбора площадки для проведения измерений внутри лесного массива.

Е.2 Выбор малых зон при определении положения границы зоны покрытия

При удалении от передатчика его медианная напряженность поля E_R уменьшается. Когда E_R становится равной $E_{\text{мед мин}}$ считают, что здесь проходит

граница зоны покрытия. Эту границу можно найти расчетным путем и с помощью измерений. Пример расчетной кривой приведен на рисунке Е.5.

Для скорейшего определения положения границы зоны покрытия экспериментальным путем предварительно должны быть выполнены расчеты положения этой границы, и она должна быть нанесена на карту.

Если расчетная граница зоны покрытия проходит по окраинам города и пригородам, где в основном имеет место малоэтажная застройка, то целесообразно воспользоваться подвижной станцией и проводить измерения при фиксированном приеме с выдвинутой мачтой. Стандартная высота приемной антенны для сельской местности считается равной 10 м.

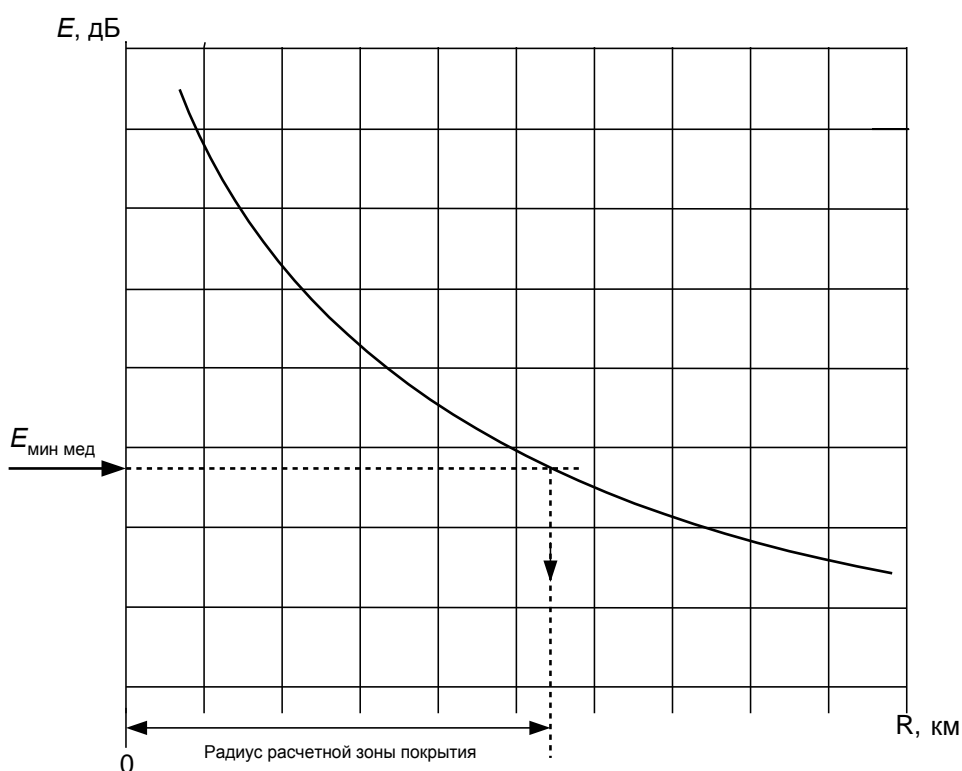


Рисунок Е.5 – Нахождение радиуса зоны покрытия по расчетной кривой $E(R)$ вдоль одного из направлений при удалении от передатчика.

В этом случае рекомендуется выполнить измерения по нескольким направлениям от передатчика в таком количестве малых зон в области расчетной границы зоны покрытия, чтобы было достаточно данных для построения плавной кривой распределения $E(R)$.

В качестве примера расположения малых зон по нескольким направлениям для получения экспериментальной границы зоны покрытия приведен рисунок Е.6.

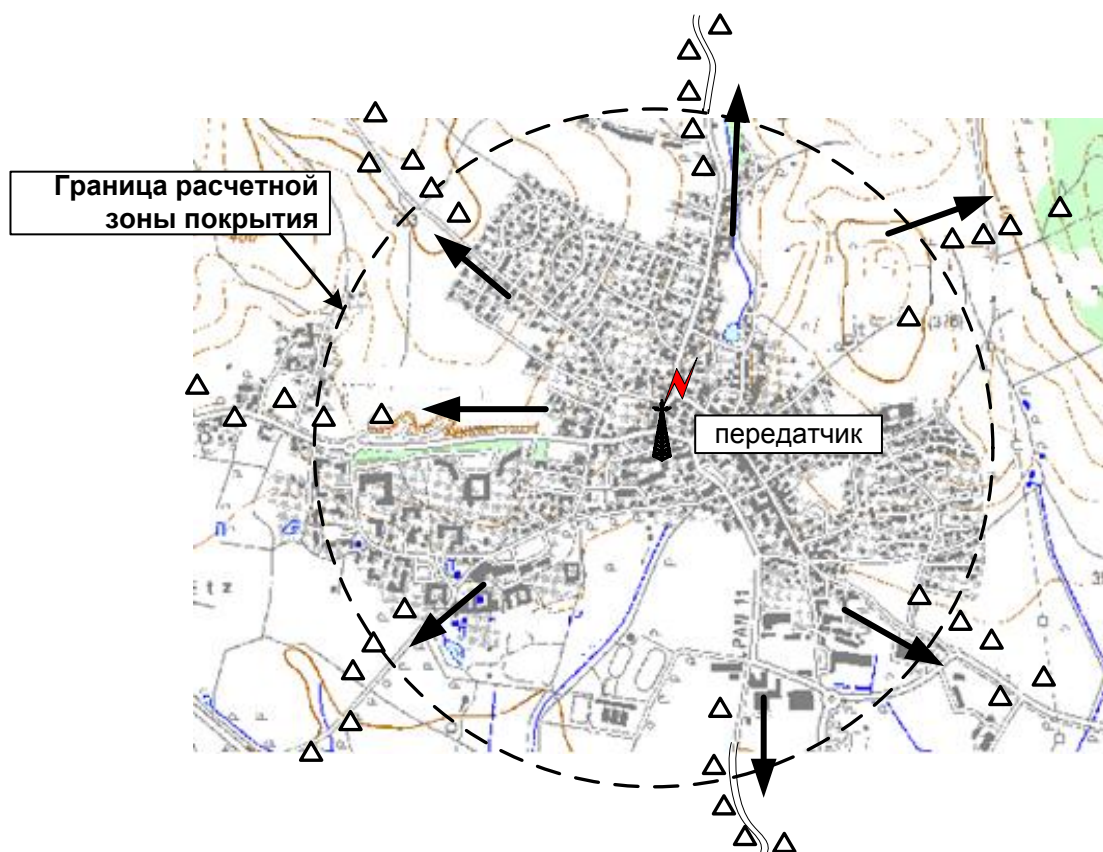


Рисунок Е.6 – Пример расположения малых зон на семи направлениях от передатчика для определения опытным путем положения границы зоны покрытия; стрелками показано направление движения измерительной станции.

Определение положения границы зоны покрытия экспериментальным путем сводится к последовательным замерам напряженности поля при удалении от передатчика. Причем на одинаковом удалении, но разных направлениях измеренные значения поля могут заметно отличаться. Поэтому часто приходится вести измерения на не менее 4 направлениях.

Результаты измерений, то есть медианные по каждой малой зоне значения напряженности поля, наносятся (рисунок Е.7) на координатные оси $E(R)$, вычерчивается плавная кривая, затем для эталонного значения $E_{\text{мин мед}}$ проводится горизонтальная прямая до пересечения с экспериментальной кривой и считывается радиус $R_{\text{п}}$ экспериментально снятой границы зоны покрытия на данном направлении от передающей станции.

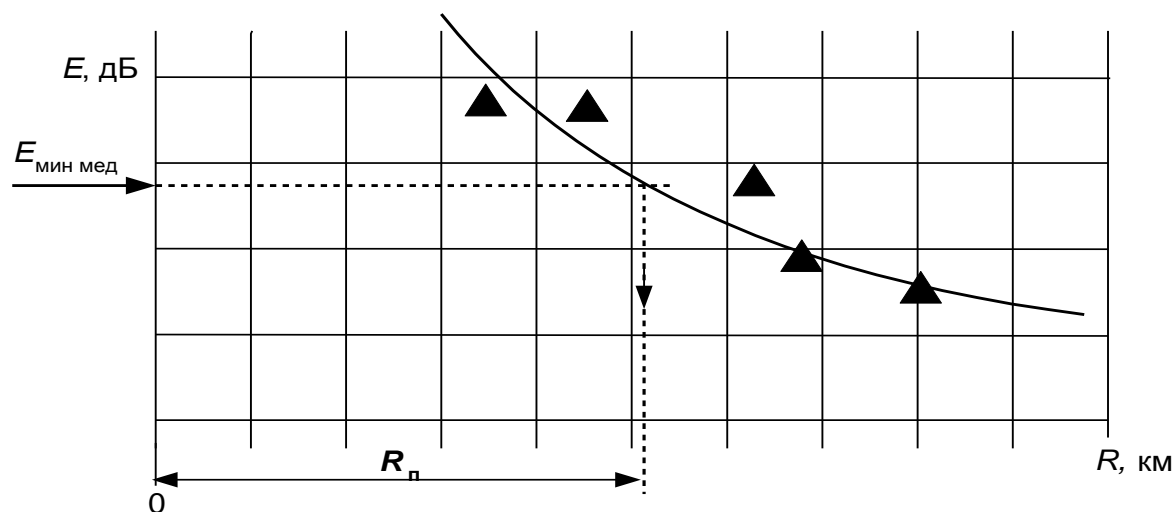


Рисунок Е.7 – Медианные значения напряженности поля в малых зонах (треугольники) и использование экспериментальной кривой для нахождения радиуса зоны покрытия по данным измерений.

Е.3 Выбор количества малых зон по заданному направлению

В случае идентичности трасс разных направлений (одинаковый рельеф, лучше – равнина, близкая к расчетной реальная форма ДН передающей антенны, исправные передатчики с правильно смонтированными выходами и т.д.), после дополнительных исследований, подтверждающих предположение о допустимых (~ 3...6 дБ) несовпадениях уровней поля в равноудаленных от передатчика малых зонах, вероятно, возможно было бы рекомендовать уменьшение количества малых зон, либо за счет сокращения направлений, либо – количества малых зон на некоторых направлениях.

Если же направления не идентичны, что чаще всего бывает в реальности, то количество малых зон по разным направлениям может сильно отличаться. Определяющими факторами в этом случае будут:

1. «Изрезанность» диаграммы направленности передающей антенны. Желательно, чтобы все измерения были проведены в зоне облучения основного лепестка диаграммы направленности передающей антенны;
2. Изменение рельефа подстилающей поверхности. При выборе малых зон необходимо учитывать изменение рельефа подстилающей поверхности. В ином случае, возможны ошибки в определении границы зоны покрытия;

3. Требуемая погрешность в определении расстояния от передатчика до границы зоны покрытия и излучаемая мощность исследуемой станции. Для построения плавной кривой распределения напряженности поля по выбранному направлению необходимо иметь достаточное количество измерений. Если жестко задать количество малых зон, то для передатчиков разной мощности относительная ошибка в определении зоны покрытия будет одинаковая, а абсолютная – разная. Если же задать жестко шаг между малыми зонами, то в этом случае, для передатчиков малой мощности (порядка 10 Вт) из-за малого количества измерений, границы зоны покрытия может быть определена с большой относительной ошибкой, а для передатчиков большой мощности (1...10 кВт), количество измерений может чрезмерно увеличиться. Оптимальным в этом случае является следующий подход:

- задается минимально необходимое количество малых зон;
- задается максимально возможное расстояние между двумя соседними малыми зонами.

Е.4 Выбор местоположения для первой малой зоны по выбранному направлению

Экспериментальное определение положения границы зоны покрытия вдоль выбранного направления от передатчика производится по кривой, описывающей усредненное (медианное) распределение напряженности поля по данному направлению. В работе [9] предлагается использовать для аппроксимации измерений уровня сигнала следующий метод: «Log-distance path loss model». Эта модель основана на предположении, что среднее значение уровня сигнала обратно пропорционально расстоянию между передатчиком и приемником и имеет вид:

$$P(d_1) \sim (1/d_1)^n, \quad (\text{E.1})$$

где n – некая константа, численное значение которой зависит от условий распространения электромагнитной волны по выбранному направлению.

Данное предположение подтверждают многочисленные теоретические выводы и экспериментальные факты. Например, для свободного пространства данный показатель степени n равен 2. При наличии препятствий значение n увеличивается (например, для города, в зависимости от типа застройки и ряда других параметров эта величина лежит обычно в пределах от 2 до 5 [9]). Исходя из этого, можно считать, что отношение уровней двух сигналов в децибелах вдоль какого-то направления равно отношению:

$$P(d_2) = P(d_1) - 10 \cdot n \cdot \log_{10}(d_2/d_1), \quad (\text{E.2})$$

где $P(d_1)$ и $P(d_2)$ – уровень сигнала (в дБ) на расстоянии соответственно d_1 и d_2 .

Пример кривой $P(d_2)$, полученный по результатам измерений уровня сигнала показан на рисунке Е.8.

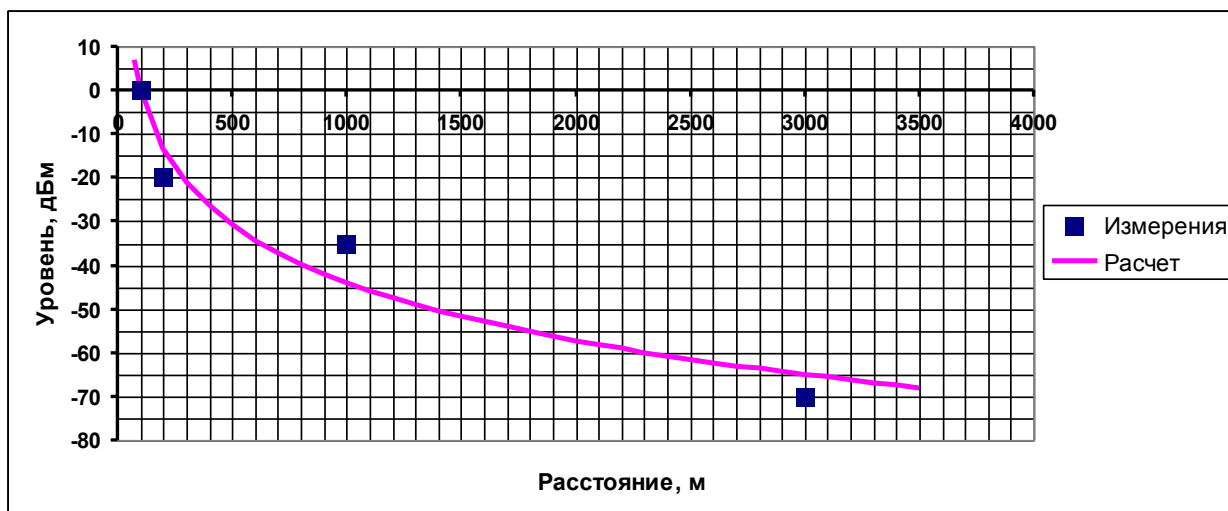


Рисунок Е.8 – Пример графического представления кривой $P(d_2)$.

Для корректного построения расчетной кривой, необходимо, чтобы первая малая зона находилась на расстоянии прямой видимости от передатчика в зоне облучения основного лепестка диаграммы направленности передающей антенны. Таким образом, гарантируется, что результаты измерений напряженности поля в более дальних малых зонах не будут превышать полученного значения в первой малой зоне, и как следствие, гарантируется, что кривая будет правильно с точки зрения физики описывать ослабления напряженности поля при удалении от передающей станции.

Оценка минимального расстояния до опоры передающей антенны $R_{\text{мин}}$, ближе которого не следует проводить измерения, проводится следующим образом. Это

расстояние является радиусом зоны, которая облучается в основном нижними боковыми лепестками передающей антенны и, следовательно, параметры ТВ сигнала на этой территории могут не соответствовать заданным, имеющим место в створе главного лепестка.

Типичная теоретическая форма ДН передающей ТВ ненаправленной антенны приведена на рисунках Е.9 а,б. Достаточно заметить, что минимумы даже в расчетной диаграмме (рисунок Е.10 а) достигают $0,6 E_{\text{макс}}$, что в месте приема, расположенном на азимуте этого минимума, может дать уменьшение сигнала почти на 3дБ. На практике же «провалы» в ДН могут быть значительно больше. К тому же, возможны ошибки монтажа при подключении передатчика к антенне (на выходе передатчика могут стоять параллельно несколько усилителей мощности, выходы которых могут быть неправильно скоммутированы с элементами антенны).

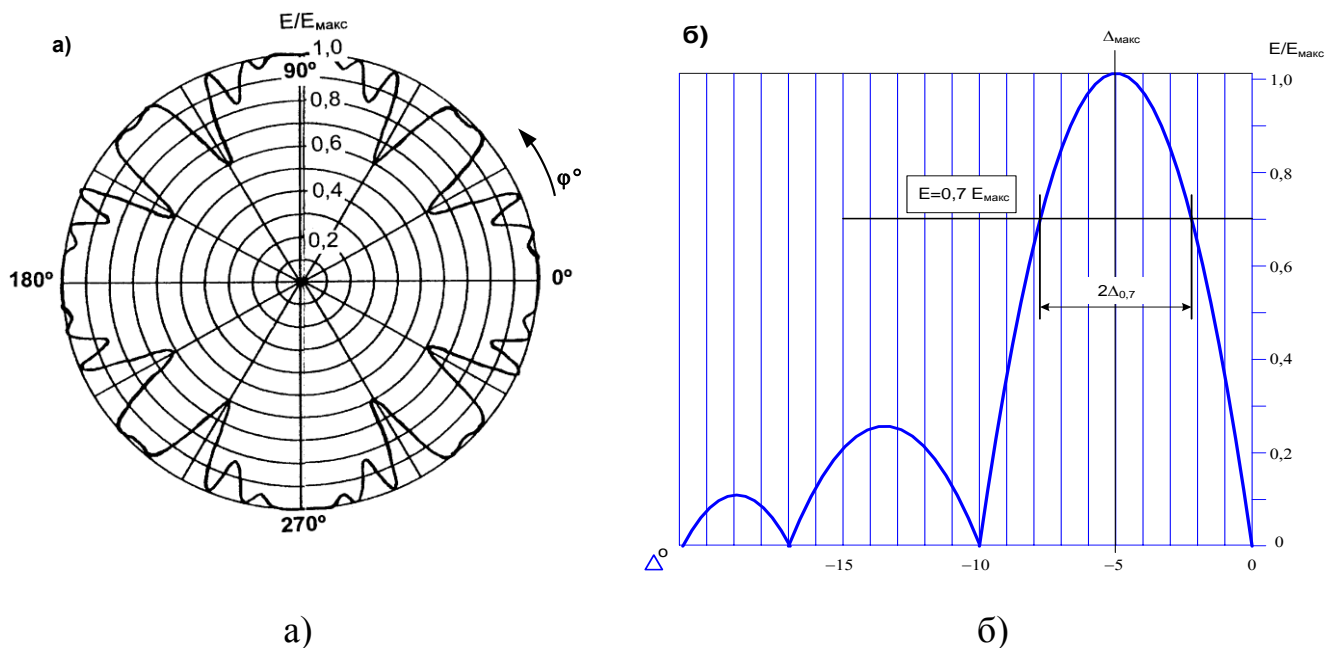


Рисунок Е.9 – Диаграмма направленности передающей ТВ антенны:

- а) горизонтальная плоскость;
- б) вертикальная плоскость – угол наклона ДН к горизонту составляет 5° .

Пример, определения $R_{\text{мин}}$ в случае плоского рельефа показан на рисунке Е.10.

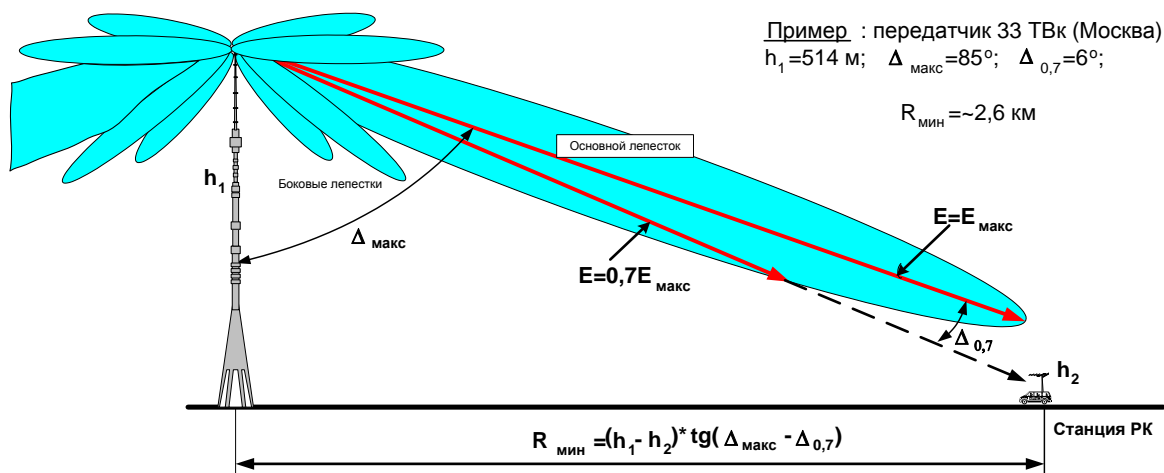


Рисунок Е.10 – Круговая зона, примыкающая к опоре передающей антенны, где не гарантируется устойчивая работа системы DVB-T2, и пример вычисления ее радиуса $R_{\text{мин}}$.

По результатам измерения напряженности поля в первой малой зоне можно рассчитать и сравнить с теоретической излучаемую передающей антенной мощность в направлении на измерительную станцию [7,10,11]:

$$P_{\Sigma} = E^2 R^2 / 30 \quad (\text{Е.3})$$

где:

P_{Σ} – мощность излучения в Вт на данном направлении;

R – расстояние между приемной и передающей антеннами в м;

E – напряженность поля (В/м), измеренная в условиях, близких к идеальным (в нашем случае – открытые трассы, что близко к идеальному случаю).

Если полученное значение P_{Σ} значительно отличается от теоретического (на 6-10 дБ и более), то это может быть сигналом о том, что передающее оборудование работает неверно и дальнейшие результаты измерений могут быть ошибочны.

Е.5 Выбор малых зон и мест приема при проведении измерений в городе для фиксированного приема

При измерениях в городе для фиксированного приема приемная антенна должна располагаться на уровне крыш зданий. При выборе мест приема следует

иметь ввиду некоторые особенности распространения радиоволн ОВЧ/УВЧ диапазонов:

- недопустимость закрытия крышей (рисунок Е.11), даже части зоны, существенной при распространении как между передатчиком и измерителем, так и позади измерительной антенны на крыше;

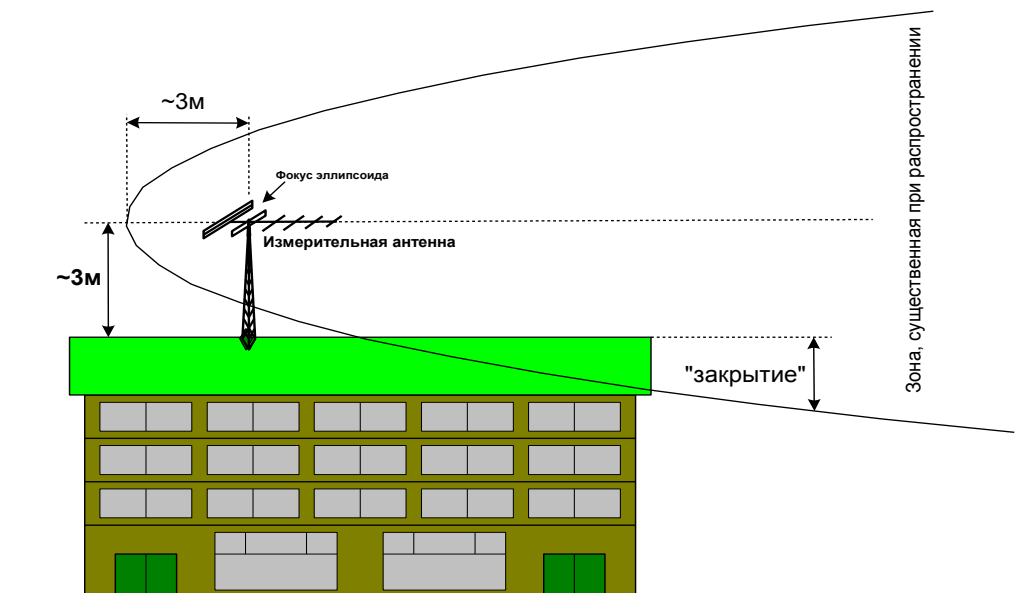


Рисунок Е.11 – Зона, существенная при распространении.

областью существенной для распространения считается эллипсоид с радиусом R_D не менее 0,6 от радиуса R_{F1} – первой зоны Френеля [12] (см. рисунок Е.12):

$$R_D > 0.6 \times R_{F1} \quad (\text{Е.4})$$

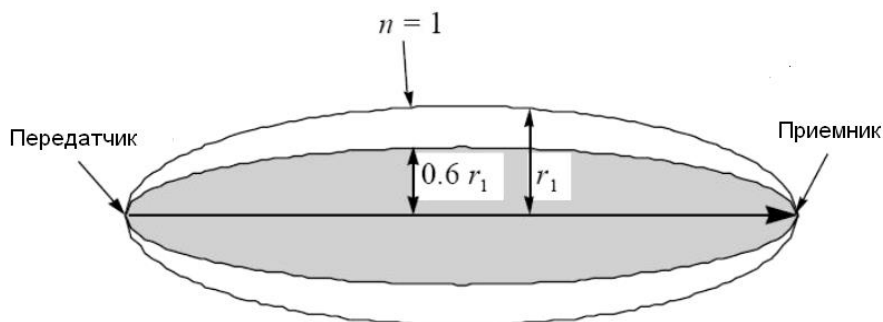


Рисунок Е.12 – Область существенная для распространения радиоволны.

- наличие мешающих сигналов (и, в первую очередь, от своего передатчика), переотраженных от высоких зданий и сооружений; такой сигнал можно

обнаружить с помощью направленной антенны и тестового цифрового приемника, в котором предусмотрена функция анализатора спектра, на дисплее которого будут видны характерные искажения спектра («провал» на рисунке Е.13).

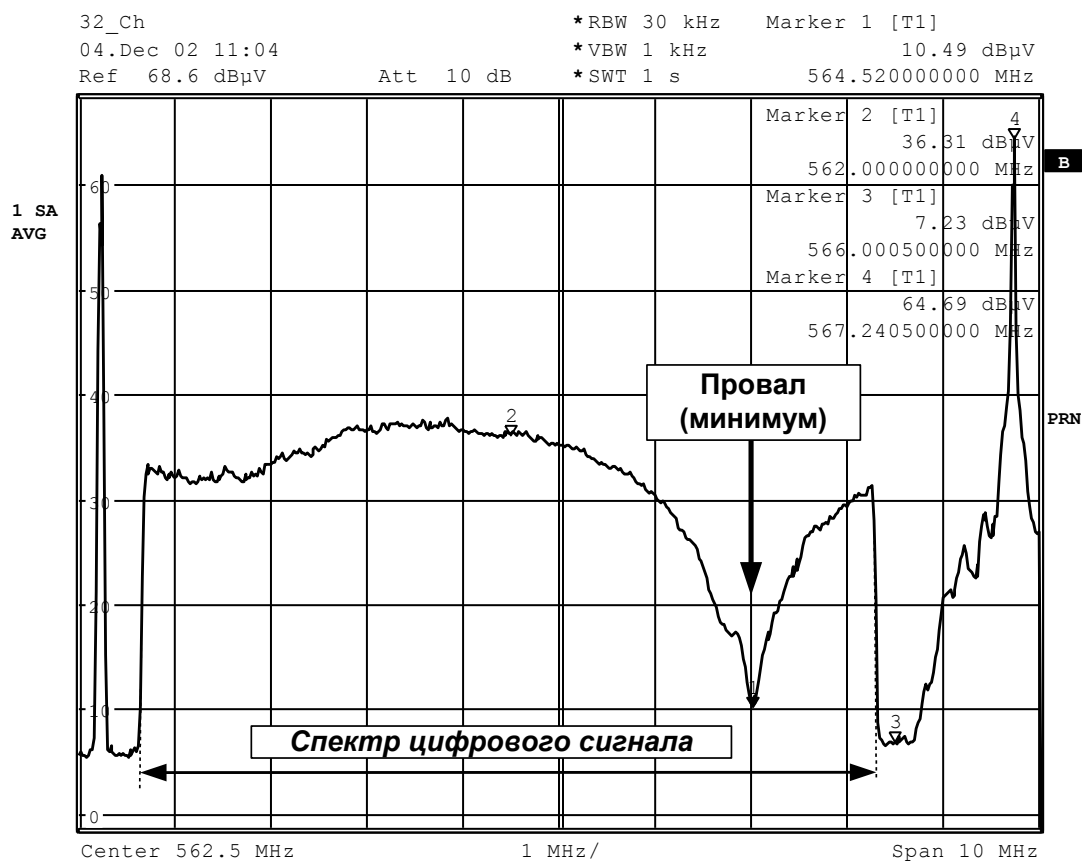


Рисунок Е.13 – Появление «провала» в спектре цифрового ТВ сигнала, принятого на открытой трассе, но из-за воздействия переотраженного от местного предмета сигнала подверженного искажениям

При выборе мест приема на крыше рекомендуется разносить их по фронту, т.е. перпендикулярно направлению на передатчик. Для крепления приемной антенны используют штатив. Штатив устанавливают на крыше наиболее высокого дома в окрестностях выбранной малой зоны. К штативу крепят приемную антенну, после чего антенну ориентируют по поляризации и поднимают на высоту не менее 2 м над уровнем крыши (рисунок Е.14).

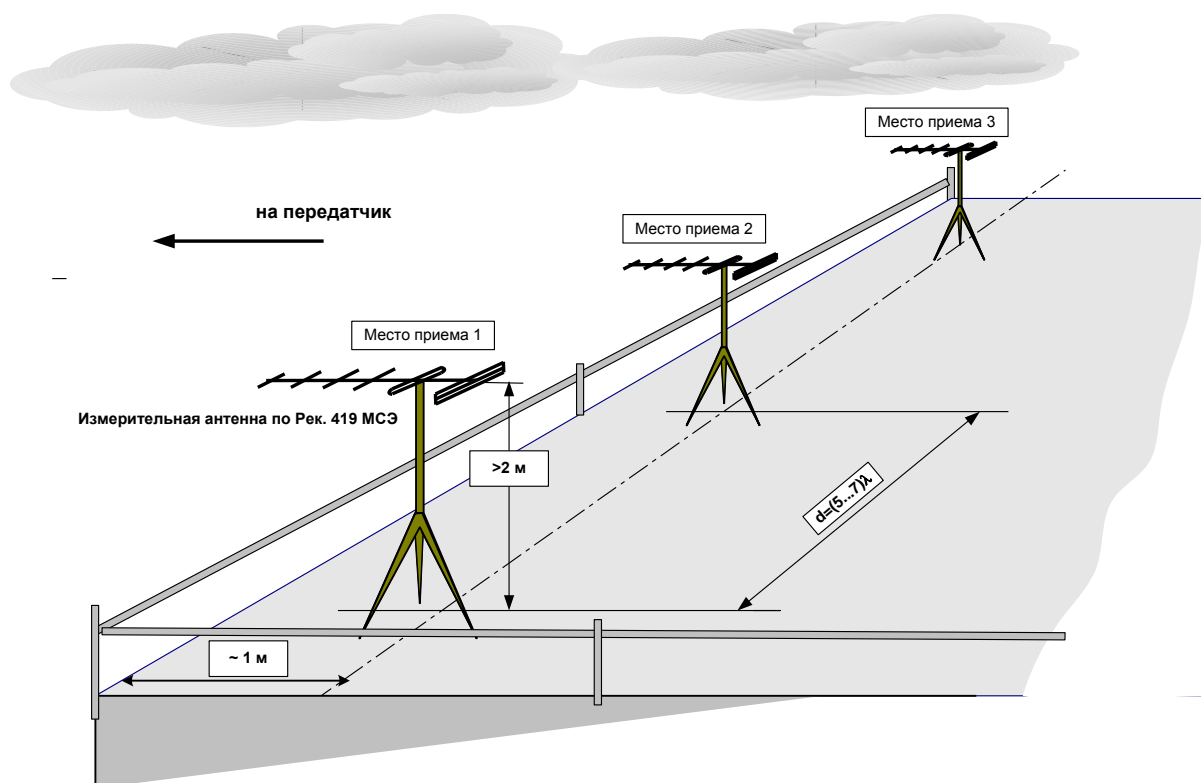


Рисунок Е.14 – Размещение мест приема в малой зоне на крыше здания

Для корректного получения распределения медианной напряженности поля в городе, малые зоны следует выбирать как в новых районах с высотной застройкой, так и в старых районах с малоэтажной застройкой. При этом, в пределах малой зоны для проведения измерений выбирается наиболее высокое здание с минимальным количеством конструкций на его крыше.

Е.6 Выбор малых зон и мест приема в сельской местности для фиксированного приема

Основное правило в выборе площадок для малых зон в сельской местности следующее:

Места для размещения малых зоны следует выбирать так, чтобы в каждой малой зоне и в ее окрестностях было как можно меньше локальных мешающих предметов (например, таких как деревья, столбы, воздушные линии электропередачи и т.д.), а изменение напряженности поля внутри малой зоны в первую очередь зависело бы от изменения рельефа подстилающей поверхности на трассе «передатчик-приемник».

При расстановке малых зон всегда необходимо учитывать изменение рельефа для получения корректных результатов измерений о распределении медианной напряженности поля вдоль выбранного направления. Рассмотрим процесс выбора площадок для малых зон по выбранному направлению от передатчика. Предположим, что рельеф подстилающей поверхности представляет собой повторяющуюся периодическую структуру с шагом 4 км и перепадом высот 400 м (см. рисунок Е.15).

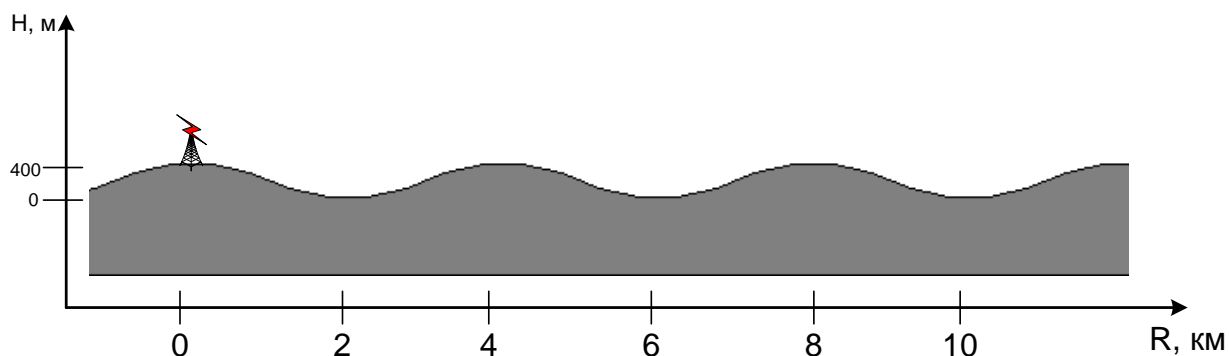


Рисунок Е.15 – Учет рельефа местности при расстановке малых зон

Передающая станция находится на вершине холма, мощность передатчика – 100 Вт, передающая антенна представляет собой изотропный излучатель на высоте 250 м, для удобства считаем, что потери в фидере отсутствуют. Распределение напряженности поля сигнала по данному направлению представлено на рисунке Е.16.

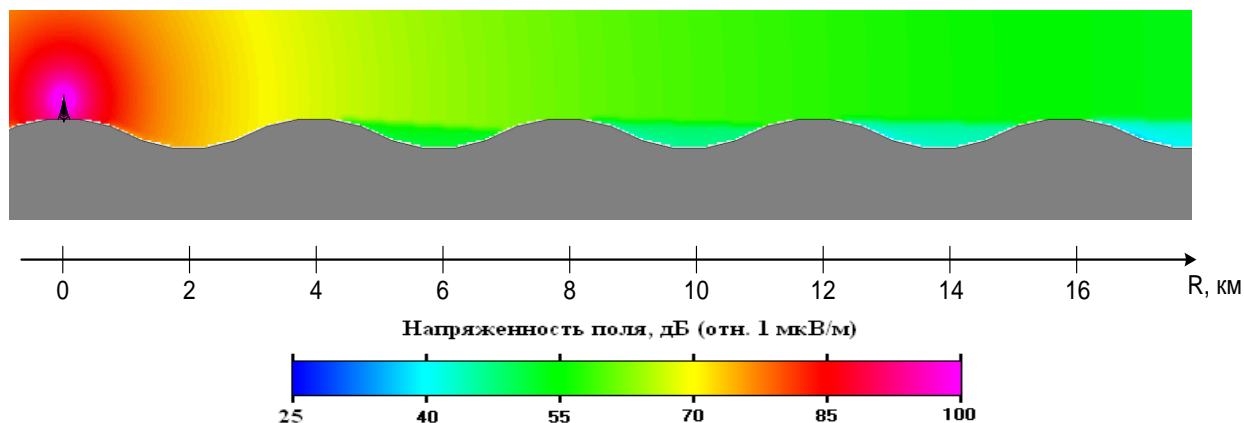


Рисунок Е.16 – Распределение напряженности поля сигнала по заданному направлению

С целью получения корректных результатов измерений необходимо правильно выбрать положения малых зон. Если выбирать площадки только на вершинах холмов, то оценка радиуса зоны покрытия по данному направлению будет завышена. Например, для минимальной медианной напряженности поля равной $E_{\text{med}} = 55$ дБ (отн. 1 мкВ/м) радиус зоны покрытия по данным значениям равен $R_B = 16$ км (см. рисунок Е.17).

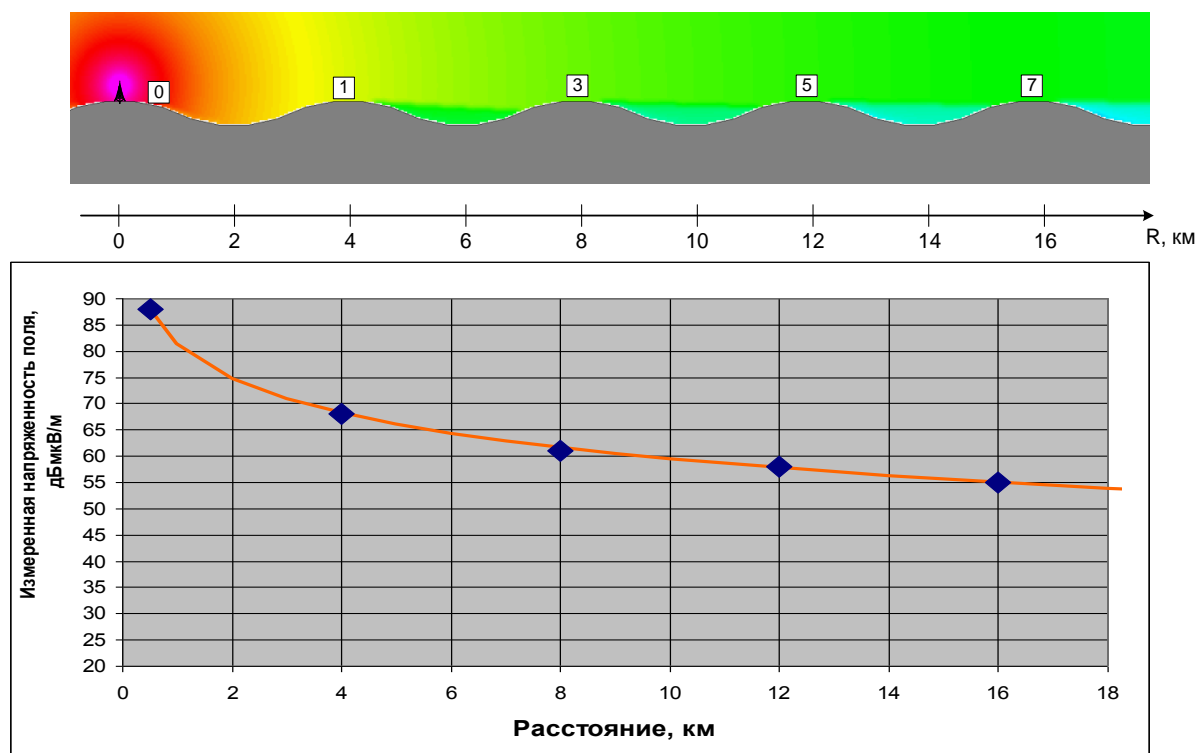


Рисунок Е.17 – Завышенная оценка радиуса зоны покрытия при размещении малых зон на вершине холмов

Если проводить измерения только в низинах, то оценка зоны покрытия по данному направлению будет наоборот занижена. Для той же требуемой минимальной медианной напряженности поля равной 55 дБ (отн. 1 мкВ/м) радиус зоны покрытия в этом случае равен $R_H \approx 5,5$ км. (рисунок Е.18).

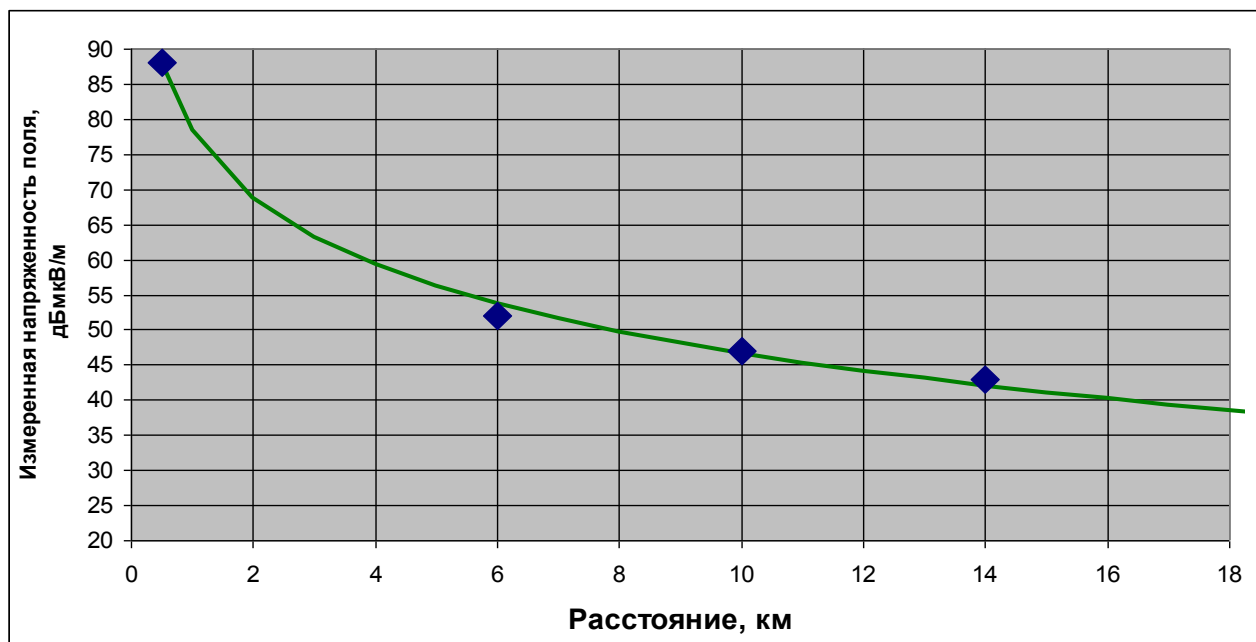
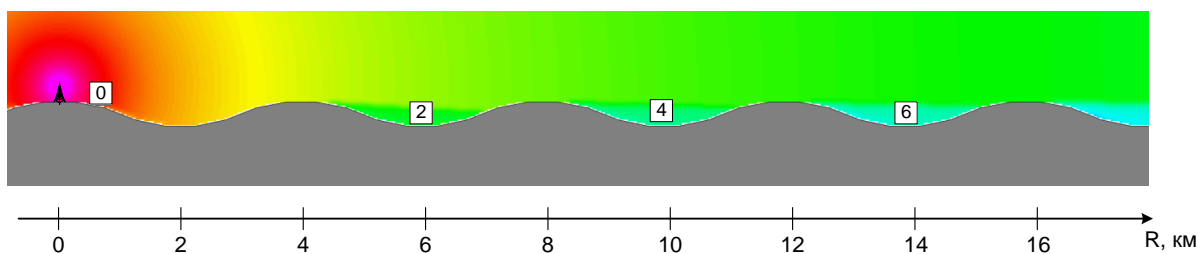


Рисунок Е.18 – Заниженная оценка зоны покрытия при размещении малых зон в низинах

Чтобы иметь распределение напряженности поля, которое бы было бы близко к медианному необходимо проводить измерения, как в низинах, так и на вершинах холмов (см. рисунок Е.19), при этом стараться выбирать площадки для малых зон так, чтобы в пределах данных площадок было как можно меньше предметов, которые бы могли повлиять на результаты измерений.

Из рисунка Е.19 видно что, действительное значение радиуса зоны покрытия для медианной напряженности поля $E_{med} = 55$ дБ (отн. 1 мкВ/м) лежит между R_B и R_H и равно $R_M \approx 9$ км.

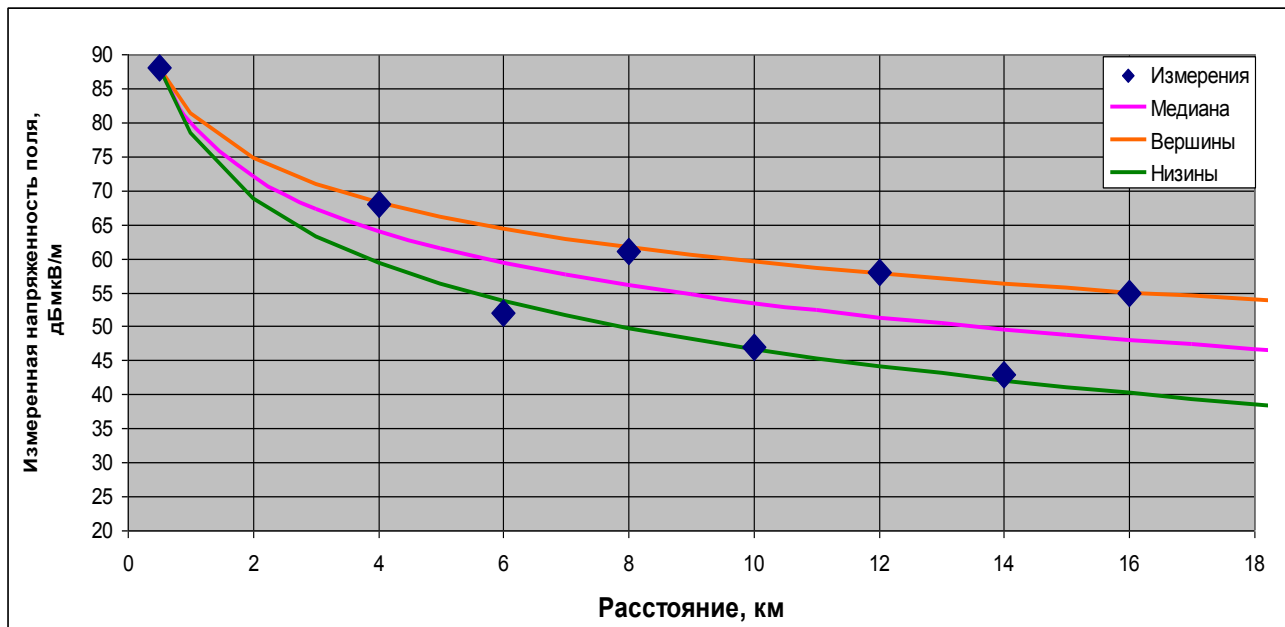
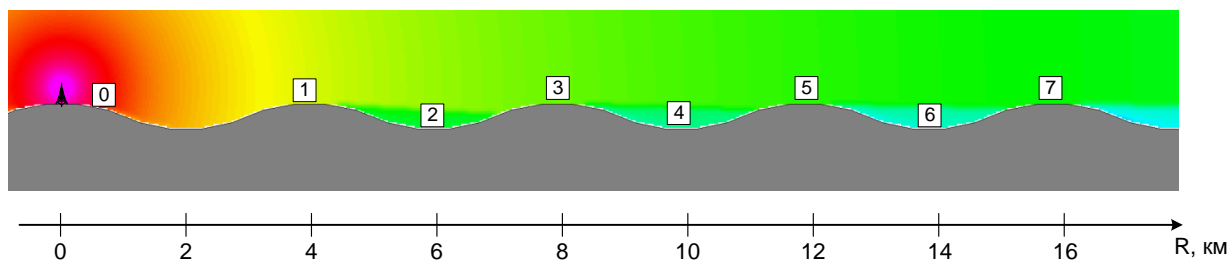


Рисунок Е.19 – Распределение напряженности поля по выбранному направлению в зависимости от выбора площадок для малых зон

Е.7 Выбор мест приема при проверке принадлежности заданных областей зоне обслуживания

Для точной проверки истинной зоны покрытия потребуется провести измерения во всех местах приема в пределах этой зоны. К сожалению, в подавляющем большинстве случаев решить эту задачу на практике нельзя. Для обеспечения осуществимого объема измерений, они (измерения) проводятся только в определенном числе местоположений. Для этого на карту города или населенного пункта накладывается сетка с шагом 500 м. Внутри каждой ячейки сетки необходимо провести хотя бы одно измерение. Шаг сетки определяется размером зоны, для которой задано значение σ_L – стандартное отклонение отсчетов измерений напряженности поля. В случае цифрового радиовещания в международных документах для площадки с размерами 500x500м σ_L принята равной 5,5 дБ [5].

Места приема внутри ячеек тестовой сетки разделяются на плановые (основные) и дополнительные. Если на этапе подготовке к измерениям отсутствует предварительный критерий по выбору мест приема, то плановые места приема выбираются примерно в центре каждой ячейки, по возможности, на наиболее открытых участках. Если при измерениях в плановом месте приема направление прихода основного луча совпадает с азимутом на передающую станцию, не зафиксировано помеховых и мешающих сигналов, измеренная напряженность поля сигнала превышает требуемое значение E_{med} на более чем на 15 дБ, то в выбранной ячейке можно больше не проводить дополнительных измерений. В ином случае, при невыполнении хотя бы одного вышеуказанного условия, требуется провести еще как минимум 4 дополнительных измерения. Строгих указаний по выбору дополнительных мест приема нет. Желательно, чтобы была возможность проезда автомобиля к данным точкам и, чтобы они были расположены внутри ячейки сетки как можно более равномерно. На рисунке Е.24 показан пример выбора в населенном пункте 4 дополнительных мест приема (обозначены желтым цветом), черными линиями показано деление данной площадки на 4 равные части (см. рис. Е.20)..

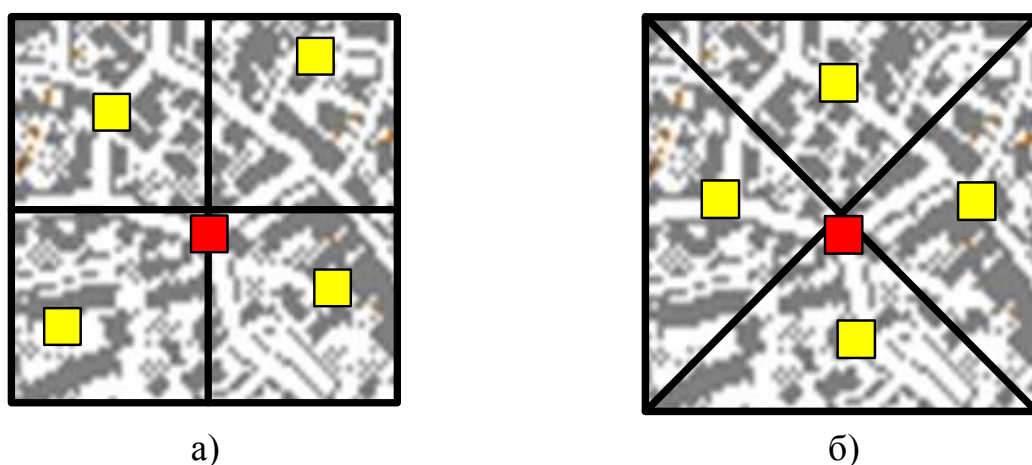


Рисунок Е.20 – Пример выбора в населенном пункте 4 дополнительных мест приема внутри одной тестовой площадки.

Е.8 Выводы и рекомендации по выбору малых зон и мест приема

- 1) Основное правило в выборе площадок для малых зон: места для размещения малых зоны следует выбирать так, чтобы влияние локальных мешающих предметов на результаты измерений было бы незначительно, а изменение

напряженности поля внутри малой зоны в первую очередь зависело от изменений рельефа подстилающей поверхности на исследуемом направлении.

2) Рекомендации в выборе площадки для малых зон:

- при определении положения границы заданной зоны вне населенных пунктов – по возможности на открытых ровных местах вдали от строений и токопроводящих сооружений;
- как показывает практика, в сельской местности весьма редко удается отыскать площадку по параметрам, близкую к рекомендованной в виде квадрата с размерами 100x100 метров [8], чаще всего приходится довольствоваться дорогами, уходящими от основного шоссе в стороны;
- по возможности следует избегать измерений в лесных массивах, сильно поглощающих энергию сигнала и искажающих спектр;
- если расчетная зона покрытия приходится на достаточно большой лесной массив, то малые зоны следует выбирать очень аккуратно, на достаточно больших полянах, чтобы влияние леса было минимально;
- в населенных пунктах с застройкой менее 10 м – места для проведения измерений следует выбирать, по возможности, на наиболее открытых участках;
- в населенных пунктах с застройкой выше 10 м – площадки для проведения измерений следует выбирать на крышах доминирующих в малых зонах по высоте домов.

Список использованных источников

1. Стандарт ETSI EN 302 755 V1.3.1 (2012-04) European Standard Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2).
2. ГОСТ 24375-80 «Радиосвязь. Термины и определения».
3. ГОСТ Р 52210-2004 «Телевидение вещательное цифровое. Термины и определения».
4. Rec. ITU-R SM.1875. "DVB-T coverage measurements and verification of planning criteria".
5. ГОСТ Р 55947-2014 «Телевидение вещательное цифровое. Приемники для эфирного цифрового телевизионного вещания DVB-T2. Основные параметры. Технические требования. Методы измерений и испытаний».
6. Рекомендация МСЭ-Р 1546. Метод прогнозирования для трасс связи "пункта с зоной" для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц.
7. Локшин М.Г., Шур А.А., Кокорев А.В., Краснощеков Р.А. Сети телевизионного и звукового ОБЧ ЧМ вещания. Справочник. М. Радио и связь, 1988 — 144.
8. Отчет EBU Tech 3348 Frequency & Network Planning Aspects of DVB T2.
9. Theodore S. Rappaport. Wireless Communications: Principles and Practice. Prentice Hall, 2002.
10. Шур А.А. Ближний и дальний прием телевидения. «Энергия», М. , 1980.
11. Калинин А.И., Черенкова Е.Л. Распространение радиоволн и работа радиолиний, «Связь», М.,1971.
12. Рекомендация МСЭ-Р Р.526 «Propagation by diffraction».