

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R F.1766-0*,**

**Методика определения вероятности получения помех
радиоастрономической обсерваторией на основе расчета запретных зон
для защиты от помех, создаваемых применениями высокой плотности
в фиксированной службе для связи пункта со многими пунктами,
действующими в полосах частот около 43 ГГц**

(2006)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации представлена методика, которая может применяться для определения запретных зон вокруг радиоастрономических станций для передатчиков применений высокой плотности в фиксированной службе (ВП-ФС) для связи пункта со многими пунктами (П-МП) и которая может использоваться администрациями в качестве метода защиты радиоастрономических станций от потенциальных помех, создаваемых станциями П-МП ВП-ФС, в ходе национальных и двусторонних переговоров.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что полоса частот 42,5–43,5 ГГц используется или запланирована для использования при непрерывных наблюдениях;
- b) что полосы частот 42,77–42,87 ГГц, 43,07–43,17 ГГц и 43,37–43,47 ГГц используются радиоастрономами для наблюдения спектральных линий однооксида кремния;
- c) что эти наблюдения могут проводиться с использованием одной антенны или сети антенн, применяя методы наблюдений с помощью интерферометра со сверхбольшой базой (VLBI);
- d) что при этих наблюдениях используют антенны с очень большим усилением и усилители с очень низким уровнем собственных шумов для приема крайне слабых космических радиоизлучений, управлять которыми астрономы не могут;
- e) что применения высокой плотности в фиксированной службе (ВП-ФС) для связи пункта со многими пунктами (П-МП) могут обеспечить развертывание большого числа терминалов, для которых индивидуальная координата не представляется возможной;
- f) что администрации, желающие защитить радиоастрономические станции (РАС) от потенциальных помех, создаваемых станциями П-МП ВП-ФС, могут рассматривать использование запретных зон вокруг станций РАС в ходе национальных и двусторонних переговоров;
- g) что определение размера запретной зоны может быть более эффективным при учете топологии и демографических данных в районе станций РАС,

признавая,

- a) что полоса частот 42,5–43,5 ГГц распределена радиоастрономической службе (РАС) во всемирном масштабе на первичной основе;
- b) что в п. 5.149 Регламента радиосвязи (РР) указано, что "при присвоении частот станциям других служб, которым распределены полосы частот 42,5–43,5 ГГц, 42,77–42,87 ГГц, 43,07–43,17 ГГц, 43,37–43,47 ГГц, администрации должны принимать все практически возможные меры для защиты радиоастрономической службы от вредных помех";

* Данная Рекомендация должна быть доведена до сведения 7-й Исследовательской комиссии по радиосвязи.

** В 2017 году 5-я Исследовательская комиссия по радиосвязи внесла в настоящую Рекомендацию поправки редакционного характера в соответствии с Резолюцией МСЭ-R 1.

c) что полоса частот 42,5–43,5 ГГц также распределена фиксированной службе (ФС) на первичной основе;

d) что в п. 5.547 РР указано, что полоса частот 42,5–43,5 ГГц может использоваться для применений высокой плотности в фиксированной службе, и администрации должны учитывать это при рассмотрении регламентарных положений в отношении данной полосы частот,

отмечая,

a) что в Резолюции 79 (ВКР-2000) МСЭ-R предлагается "провести исследования по определению координационного расстояния между радиоастрономическими станциями, работающими в полосе 42,5–43,5 МГц, и станциями П-МП ВП-ФС с целью подготовки Рекомендаций МСЭ-R";

b) что в Рекомендации МСЭ-R F.1760 описана методика расчета распределения совокупной эквивалентной изотропно-излучаемой мощности (с.э.и.м.), создаваемой применениями высокой плотности в фиксированной службе при связи пункта со многими пунктами, работающими в диапазонах частот выше 30 ГГц,

рекомендует,

1 чтобы Приложение 1 могло использоваться для определения вероятности получения помех при наблюдении РАС, создаваемых развертыванием П-МП ВП-ФС вне установленной запретной зоны (EZ), основываясь на распределениях с.э.и.м.;

2 чтобы Приложение 2 могло использоваться для создания вокруг станции РАС запретной зоны, определяемой потерями при распространении радиоволн от станции РАС, вне которой станции П-МП ВП-ФС могут быть развернуты при исключении вероятности создания недопустимых помех для РАС, применяя методику Приложения 1 для расчета вероятности помех.

Приложение 1

Методика определения вероятности получения помехи при наблюдении РАС от развертывания П-МП ВП-ФС вне зоны EZ, установленной на основе распределений с.э.и.м.

1 Введение

Необходимо уметь прогнозировать уровни помех на станции РАС от потенциального развертывания станций П-МП ВП-ФС, для того чтобы иметь возможность предложить РАС требуемый уровень защиты. Этот уровень помех будет зависеть от характеристик, задаваемых для каждой службы, окружающей территории и отражений от местных предметов вокруг станции РАС.

Ряд входных параметров не может быть представлен в виде числовых констант, а изменяется в соответствии с распределением. Например, потери при распространении радиоволн между двумя пунктами зависят от ряда параметров, включая заданный процент времени. Методика, описанная в данном Приложении, основана на методе Монте-Карло, в соответствии с которым эти входные распределения свертываются, используя выражение для помех с целью вычисления распределения уровня помех в зависимости от вероятности того, что эти уровни помех превышаются.

Такой подход позволяет сравнить пороговые уровни для РАС, определенные в Рекомендации МСЭ-R RA.769, которые выражены в виде пороговых уровней помех (средняя мощность за период наблюдения) и вероятности получения помех во время наблюдения.

Вычисление проводится в три этапа:

- 1 определение модели РАС;
- 2 определение модели П-МП ВП-ФС;
- 3 вычисление помех.

Каждый из этих этапов описан в разделах ниже.

2 Модель РАС

2.1 Пороговый уровень помех

Основой модели РАС являются защитные критерии для радиоастрономических измерений, приведенные в Рекомендации МСЭ-R RA.769. Для защиты радиоастрономической службы необходимо, чтобы существовала вероятность $(100 - x)\%$ отсутствия помех при наблюдении.

Наблюдение считается свободным от помех, если средняя мощность помех за период интеграции T меньше уровней, определенных в Приложении 1 Рекомендации МСЭ-R RA.769. В данной Рекомендации и при других исследованиях совместного использования частот с РАС в качестве типового используется значение $T = 2000$ с.

Этот период интеграции также определяет чувствительность приемника, и, следовательно, пороговый или средний уровень помех. Они изменяются в зависимости от типа наблюдения: в непрерывном спектре или наблюдения спектральных линий. Наблюдения в непрерывном спектре более чувствительны, чем наблюдения спектральных линий, и поэтому требуют более низкого порога. Работа телескопа, как части системы VLBI, приводит к более высоким порогам из-за низкой корреляции источников помех.

Значения, приведенные в таблице 1 Рекомендации МСЭ-R RA.769, определяют пороги среднего уровня помех на основе спектральной плотности потока мощности при предположении, что усиление антенны приемника равно 0 дБи. Это соответствует антенне с боковыми лепестками согласно Рекомендации МСЭ-R SA.509 при внеосевом угле равном 19° . Чтобы иметь возможность моделировать телескопы РАС при более низких углах места и учесть другие диаграммы направленности антенны телескопа, необходимо определить порог на основе помех в приемнике, т. е. используя ΔP_H , как определено в уравнении (4) данной Рекомендации.

Как указано выше, вероятность того, что наблюдение свободно от помех, должна быть равна $(100 - x)\%$, т. е. что данный порог не превышен. В Рекомендации МСЭ-R RA.1513 указано, что в этом случае для одной сети при развертывании П-МП ВП-ФС должно использоваться значение $x = 2\%$.

2.2 Местоположение

Местоположение антенны РАС определяется ее широтой, долготой и высотой над уровнем данной местности.

2.3 Диаграмма направленности антенны

Антенна РАС должна моделироваться подходящей диаграммой направленности, аналогичной приведенной в Рекомендациях МСЭ-R S.1238 или RA.1630, или, где имеются, измеренными данными. Как отмечено выше, пороговый уровень помех основан на среднем уровне помех за период наблюдения, обычно равный 2000 с. Предполагая, что окружающая среда распространения радиоволн и развертывание П-МП ВП-ФС являются неизменными в течение этого периода, средний уровень помех рассчитывается при использовании среднего усиления антенны в период наблюдения.

Среднее усиление антенны телескопа РАС может быть определено следующим образом:

- расположить ряд контрольных пунктов (например, каждые 3°) по горизонту вокруг измеряемой станции РАС;
- установить антенну РАС согласно диаграмме направленности антенны, выбранной, как описано выше;

- установить минимальное значение угла места антенны для наблюдений на этой станции (например, 5°) и азимут = 0° ;
- увеличивать угол места антенны со скоростью, равной вращению Земли, в течение 2000 с;
- определить среднее усиление антенны в каждом контрольном пункте за этот период. Отметим, что усреднение должно проводиться в линейных единицах, а не в дБи, даже если результирующая таблица может быть представлена в дБи.

Таблица {(среднее усиление антенны за 2000 с), (угол от азимута РАС)} может использоваться для представления средней диаграммы направленности антенны РАС в направлении горизонта в течение периода наблюдения.

2.4 Резюме

Входные параметры, требуемые для определения модели РАС, обобщены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1
Параметры модели РАС

Входные данные	Источник
Пороговый уровень помех	Средний уровень помех за период наблюдения 2000 с, рассчитанный согласно Рекомендации МСЭ-R RA.769 для соответствующего типа наблюдения
Приемлемая вероятность получения помехи при наблюдении	2% согласно Рекомендации МСЭ-R RA.1513 для сети П-МП ВП-ФС
Широта РАС	Местоположение станции РАС
Долгота РАС	Местоположение станции РАС
Высота антенны РАС над местностью	Местоположение станции РАС
Среднее усиление антенны в течение периода наблюдения	Таблица {(среднее усиление антенны за 2000 с), (угол от азимута РАС)}, рассчитанная используя алгоритм, описанный выше

3 Модель П-МП ВП-ФС

3.1 Распределение(я) с.э.и.и.м.

Системы П-МП ВП-ФС могут охватывать широкий диапазон служб, конфигураций и характеристик. Для обеспечения регулирования данной полосы частот могут быть определены эталонные модели с такими характеристиками как максимальный размер соты, э.и.и.м., высоты подвеса антенн и т. д. Из этих эталонных моделей можно получить распределения совокупной э.и.и.м. (с.э.и.и.м.), которые определяют вероятность того, что с.э.и.и.м. в пределах зоны или функционального блока (ФБ) не превышает определенного значения. Алгоритм получения этих распределений с.э.и.и.м. описан в Рекомендации МСЭ-R F.1760 "Методика расчета распределения совокупной эквивалентной изотропно-излучаемой мощности (с.э.и.и.м.), создаваемой применениями высокой плотности в фиксированной службе при связи пункта со многими пунктами, работающими в диапазонах частот выше 30 ГГц, определенных для данного использования".

Значение с.э.и.и.м. охватывает характеристики всех передатчиков в пределах ФБ, включая такие аспекты как управление мощностью передатчика, диаграммы направленности антенн, суммирование, а также отражение от местных предметов. Развертывание терминалов П-МП ВП-ФС различается в каждом ФБ: однако большое количество ФБ, вероятно, создает диапазон значений с.э.и.и.м. согласно распределению.

Сценарий может быть основан на широком развертывании одной эталонной модели П-МП ВП-ФС, в этом случае входные данные ограничиваются единственным с.э.и.и.м. распределением. Однако более сложные варианты развертывания могут включать и другие типы эталонных моделей П-МП ВП-ФС, в этом случае необходимо учитывать несколько с.э.и.и.м. распределений.

3.2 Высота установки передатчика

Высота установки передатчика выбирается максимальной из используемых в каждой эталонной модели и таким образом связана с распределением с.э.и.и.м.

3.3 Область развертывания

Область развертывания (DA) представляет собой те места, где могут быть установлены передатчики П-МП ВП-ФС, в типовом варианте, между:

- запретной зоной (EZ) вокруг станции РАС, в пределах которой не разрешается развертывание П-МП ВП-ФС. Она может быть определена в виде указания расстояния от станции РАС, D , или в виде местоположений, для которых потери при распространении радиоволн согласно модели в Рекомендации МСЭ-R P.452 превышают указанное значение, т. е. $L_{452} > X$ дБ;
- максимальным расстоянием D_{max} , после которого дополнительное развертывание вызвало бы лишь незначительное увеличение рассчитанного уровня помех и поэтому не должно рассматриваться.

EZ, основанные на расстоянии, представляют собой круги с центром в месте расположения РАС. EZ, основанные на потерях при распространении радиоволн, могут иметь форму многоугольника(ов).

Максимальное рассматриваемое расстояние изменяется в зависимости от размера EZ. Например, для EZ, определенной $D = 50$ км, нет необходимости учитывать развертывание станций П-МП ВП-ФС вне $D_{max} = 110$ км. Значение D_{max} можно определить, продолжая добавлять еще станции, создающие помехи, до тех пор, пока возрастание уровня помех не станет незначительным. Если DA – узкое кольцо вокруг станции РАС, тогда, вероятно, D_{max} должен быть увеличен.

В пределах DA должен быть равномерно расположен ряд контрольных пунктов, каждый представляющий один ФБ. Зона, используемая для вычисления с.э.и.и.м., определяет расстояние разнесения между контрольными пунктами.

DA может включать однородное распределение ФБ, каждый из которых представляет одну и ту же эталонную модель П-МП ВП-ФС, или могут быть местоположения с различными типами служб, конфигураций, и т. д., представляющих различные распределения с.э.и.и.м. DA может также включать зоны, где нет развертывания П-МП ВП-ФС.

Распределение с.э.и.и.м. может представлять либо внутриполосные, либо внеполосные излучения (ОоВ) от передатчиков П-МП ВП-ФС. В случае исследования ОоВ возможно ослабление сигнала относительно передачи внутри полосы, $A_{оов}$.

В Приложении 2 к данной Рекомендации определены различные подходы и алгоритмы для определения DA.

3.4 Резюме

В таблице 2 содержится совокупность входных параметров, необходимых для определения модели П-МП ВП-ФС.

ТАБЛИЦА 2

Параметры модели П-МП ВП-ФС

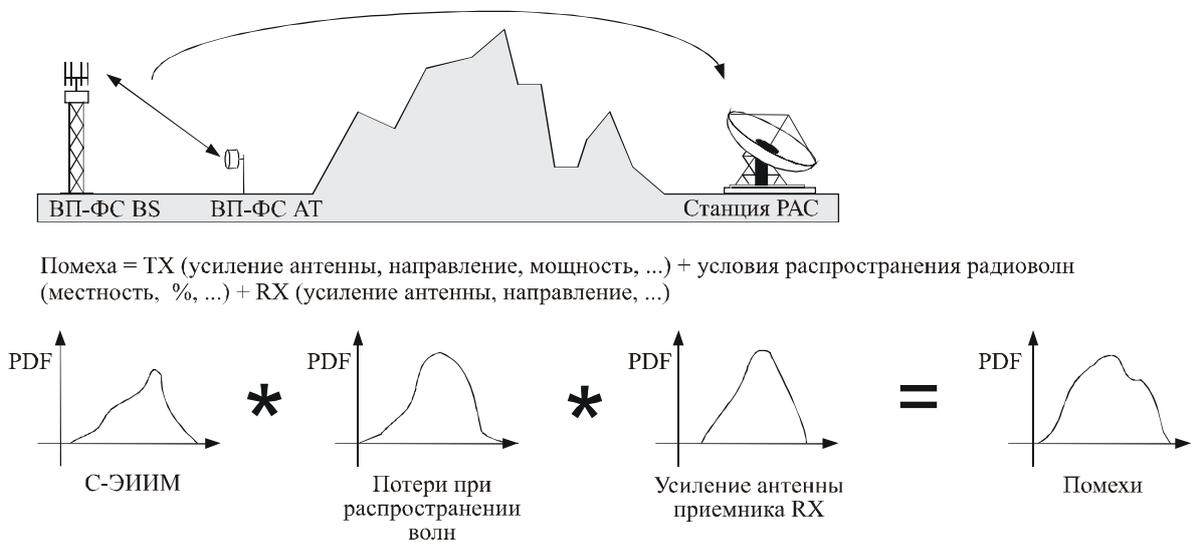
Входные данные	Источник
Распределение(я) с.э.и.и.м.	Рассчитывается, используя алгоритм Рекомендации МСЭ-R F.1760
Высота установки передатчика	Как определено для каждой эталонной модели, т. е. может изменяться в зависимости от распределения с.э.и.и.м.
Зона развертывания	Ряд контрольных пунктов между EZ и рассматриваемым максимальным расстоянием, D_{max} . Для каждого контрольного пункта определяется высота установки передатчика и распределение с.э.и.и.м.
A_{OoB} , при необходимости	Ослабление между работой внутри полосы и OoB, если потребуется. Для анализа внутри полосы эти данные могут быть приняты равными нулю.

4 Расчет помех

Метод Монте-Карло заключается в расчете уровня средней совокупной помехи для последовательности выборок. Он представляет собой свертку трех переменных входных данных: развертывания П-МП ВП-ФС, среды распространения радиоволн и азимута наблюдения РАС. Эта свертка показана на рисунке 1.

РИСУНОК 1

Подход Монте-Карло для расчета совокупной помехи



1766-01

Для каждой выборки уровень средней совокупной помехи I вычисляется, используя:

$$I = \sum_j AEIRP(p_{i,j}) - L_{452}(p_i, j) + G_{RAS}(j, az_i) - A_{OoB}, \quad (1)$$

где:

I : номер i -ой выборки;

j : j -ый функциональный блок;

- $CЭИИМ(p_{i,j})$: совокупная э.и.и.м. при вероятности $p_{i,j}$;
- $p_{i,j}$: вероятность для i -ой выборки;
- $L_{452}(p_{i,j})$: потери согласно Рекомендации МСЭ-R P.452 для вероятности $p_{i,j}$ -го функционального блока;
- p_i : вероятность для использования в МСЭ-R P.452 для i -ой выборки;
- $G_{РАС}(j, az_i)$: среднее усиление приемной антенны РАС в течение наблюдения по направлению j -ого функционального блока для угла направления РАС az_i ;
- $A_{ооВ}$: ослабление между внутрисполосными и ОоВ излучениями. В случае исследований внутри полосы эти данные могут не учитываться или приняты равными нулю.

Отметим, что по предположению L_{452} является положительным числом, представляющим потери.

Для определения потерь используется модель распространения радиоволн по Рекомендации МСЭ-R P.452 с высотами подвеса антенн передатчика П-МП ВП-ФС и приемника РАС.

Вероятность получения помех при наблюдении может быть вычислена, основываясь на уравнении (1), используя следующие шаги:

Шаг 1: Установить отсчет выборок $N = 0$.

Шаг 2: Установить отсчет наблюдений, подверженных помехам, $M = 0$.

Шаг 3: Пока отсчет $N < N_{max}$ повторять Шаги 4–17.

Шаг 4: Рассчитать азимут антенны РАС $Az =$ случайный $(-180, +180)$.

Шаг 5: Рассчитать процент времени $p_i =$ случайный $(0, 100)$ по Рекомендации МСЭ-R P.452.

Шаг 6: Установить уровень совокупной средней мощности помех $I = 0$.

Шаг 7: Для каждого контрольного пункта в пределах DA, j , повторить Шаги 8–14.

Шаг 8: Рассчитать вероятность развертывания ФБ для j -го контрольного пункта $p_{i,j} =$ случайная $(0, 1)$.

Шаг 9а: В случае систем МДЧР определить с.э.и.и.м. ($p_{i,j}$), используя распределение с.э.и.и.м. для j -го контрольного пункта.

Шаг 9б: В случае систем МДВР с.э.и.и.м. ($p_{i,j}$) может быть определена путем случайного выбора x выборок, где x представляет собой количество подразделенных интервалов времени систем МДВР, тогда с.э.и.и.м. может быть рассчитана путем усреднения выборок x , используя распределение с.э.и.и.м. для j -го контрольного пункта.

Шаг 10: Рассчитать потери, $L_{452}(p_{i,j})$, между j -м контрольным пунктом и станцией РАС для $p_i\%$ времени по МСЭ-R P.452.

Шаг 11: Рассчитать разность азимутов ∇Az_j между Az наблюдения РАС и азимутом станции РАС по направлению к j -му контрольному пункту.

Шаг 12: Рассчитать среднее усиление антенны $G_{РАСj}$ станции РАС в направлении j -го контрольного пункта путем определения среднего усиления, связанного с разностью азимутов ∇Az_j , используя, при необходимости, линейную интерполяцию.

Шаг 13: Рассчитать уровень помехи станции РАС от данного контрольного пункта (отмечая, что для исследования внутри полосы $A_{ооВ} = 0$), используя:

$$I_j = AEIRP(p_{i,j}) - L_{452}(p_{i,j}) + G_{РАСj} - A_{ооВ}$$

Шаг 14: Увеличить уровень совокупной средней помехи I на I_j :

$$I \Rightarrow I + 10^{(I_j/10)}$$

Шаг 15: После включения всех контрольных пунктов преобразовать значение уровня совокупной средней помехи I в дБ:

$$I \Rightarrow 10 \log_{10}(I)$$

Шаг 16: Если уровень совокупной средней помехи I превышает пороговый уровень для РАС, увеличить отсчет наблюдений, подверженных помехам, M .

Шаг 17: Увеличить отсчет выборок, N .

Шаг 18: Рассчитать вероятность получения помех при наблюдении, $P_{ob} = 100M/N$.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Требуемое количество выборок – проверка на статистическую значимость.

Одним из подходов к определению значимости результатов является проверка с использованием t -распределения Стьюдента. Она основана на вычислении разности от средней по совокупности, деленной на оцениваемую стандартную ошибку, а именно:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s_{n-1} / \sqrt{n}},$$

где:

- \bar{x} : расчетное среднее по выборкам;
- μ : среднее по генеральной совокупности;
- s_{n-1} : стандартное отклонение выборки;
- n : размер выборки.

Затем результат можно сравнивать с правдоподобием гипотезы по критерию t -распределения (например, что $\mu > 2\%$) по отношению к необходимому уровню достоверности.

Следующие действия показывают, как это может быть осуществлено посредством данного алгоритма:

Шаг 1: Серия моделирования по логарифму вероятности превышения I за каждый из 1000 временных отсчетов.

Шаг 2: Цикл из 5 серий по 1000 временных отсчетов.

Шаг 3: Сверка данных для t -значимости до достижения необходимого уровня достоверности.

Шаг 4: Если значимость не достигнута, провести еще цикл из 1000 отсчетов и перейти к Шагу 3.

Шаг 5: Если достигнута, выдать результат.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Использование Рекомендации МСЭ-R P.452.

Процент времени P по Рекомендации МСЭ-R P.452 является случайной величиной из равномерного распределения между 0 и 100%. Следующие ограничения должны применяться для совместимости с диапазонами вероятности, принятыми согласно методике данной Рекомендации:

- если P больше чем 50%, то принять $P = 50\%$;
- если P меньше чем 0,001%, то принять $P = 0,001\%$.

При расчете потерь по Рекомендации МСЭ-R P.452 в случае доступности должны использоваться базы данных о территории и отражениях от местных предметов.

5 Результаты применения методики

Результатом применения данной методики является вероятность получения помех при наблюдении, P_{ob} .

Ее можно сравнить с приемлемой вероятностью получения помех при наблюдении, а именно, 2% для сети П-МП ВП-ФС.

Поэтому для защиты станции РАС должно соблюдаться следующее условие:

$$P_{ob} \leq 2\%. \quad (2)$$

Прилагаемый документ 1 к Приложению 1

Пример расчета

В настоящем Прилагаемом документе приведен пример использования методики Приложения 1 для определения вероятности получения помех при наблюдении в обсерватории "Джорделл-Бэнк", от широкомасштабного развертывания сетей П-МП ВП-ФС.

Модель РАС

Параметры в таблице 3 представляют собой входные данные для модели обсерватории "Джорделл-Бэнк".

ТАБЛИЦА 3

Входные параметры РАС

Диапазон частот	43 ГГц
Тип наблюдения	Исследование в непрерывном спектре
Минимальный угол места	5°
Широта станции	+53° 14' 1,2"
Долгота станции	-02° 18' 8,9"
Высота антенны	На 30 м выше окружающей местности
Модель диаграммы направленности антенны	Рекомендация МСЭ-R S.1428

Исходя из типа наблюдения и частоты на основе Рекомендаций МСЭ-R RA.769 и МСЭ-R RA.1513, были получены пороговые уровни для помех, приведенные в таблице 4.

ТАБЛИЦА 4

Пороговые уровни для РАС

Пороговый уровень средней помехи в течение 2000 с наблюдения	-220,6 дБ(Вт/МГц)
Приемлемая вероятность помех при наблюдении, $P_{об}$	2%

В таблице 5 определены диапазоны углов азимута и места антенн, исходя из минимального угла места и периода наблюдения 2000 с.

ТАБЛИЦА 5

Диапазоны углов азимута и места РАС

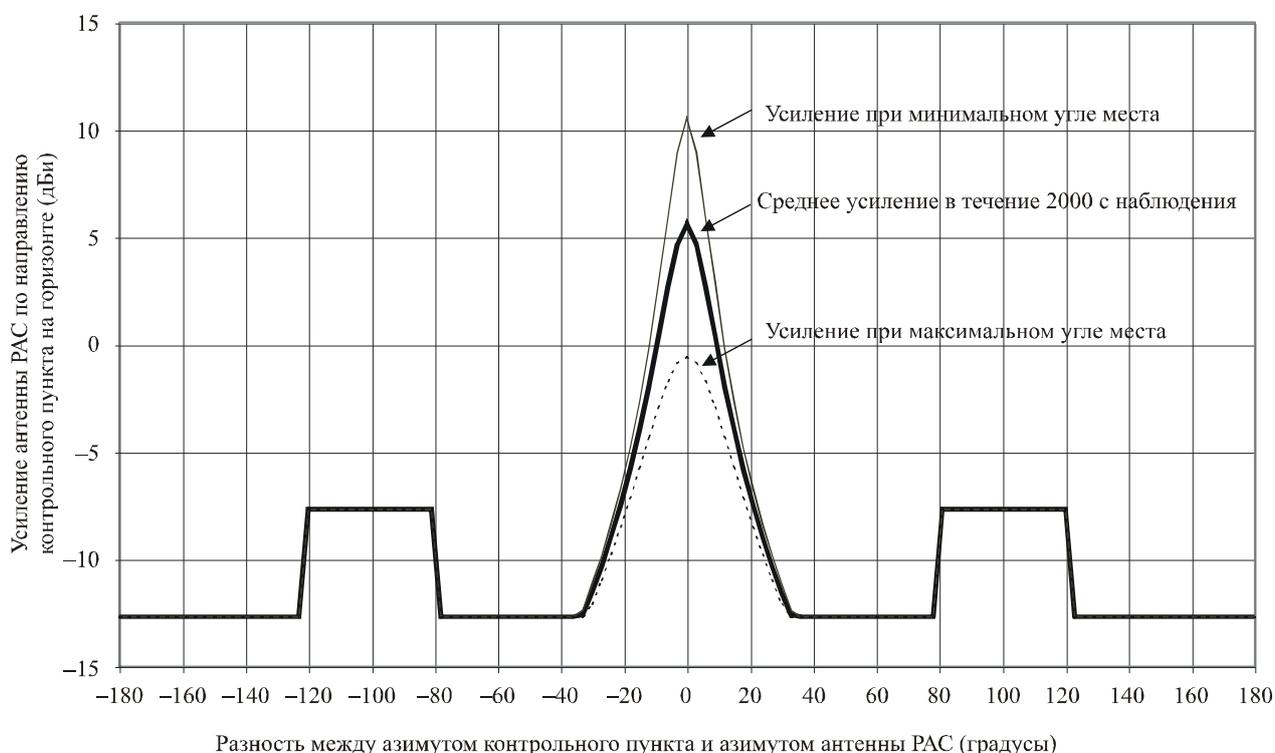
	Начало	Конец
Азимут	0°	0°
Угол места	5°	13,33° (1)

(1) За 2000 с Земля повернется на 8,33° и, следовательно, $13,33^\circ = 5^\circ + 8,33^\circ$.

Среднее усиление для диаграммы направленности антенны, определенной в Рекомендации МСЭ-R S.1428, было рассчитано с использованием ряда контрольных пунктов, размещенных на горизонте через каждые 3°, как показано на рисунке 2.

РИСУНОК 2

Среднее усиление антенны РАС на основе Рекомендации МСЭ-R S.1428



1766-02

Модель П-МП ВП-ФС

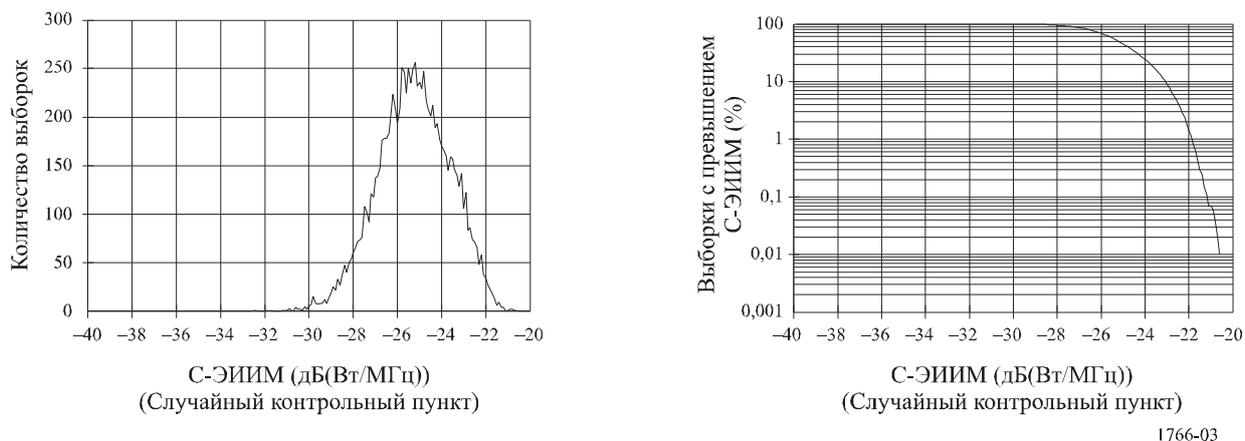
Характеристики П-МП ВП-ФС определяются эталонной моделью, используемой при вычислении распределения с.э.и.и.м. В данном случае была взята сеть широкополосного фиксированного беспроводного доступа (ШФБД), использующая базовую станцию (БС) с высотой подвеса антенн 20 м, обслуживающую коммерческих пользователей с высотой подвеса антенн 5 м, и рассматривалось направление линии вверх (UL) от пользователя к базовой станции.

Цель анализа состояла в том, чтобы определить, будет ли EZ, основанная на критерии $L_{452}(10\%) \geq 161$ дБ, достаточна для защиты РАС от ОоВ излучений при широкомасштабном развертывании такого типа сети П-МП ВП-ФС.

Для получения распределения с.э.и.и.м., представленного на рисунке 3 в виде гистограммы и интегральной функции распределения (CDF), использовался алгоритм Рекомендации МСЭ-R F.1765.

РИСУНОК 3

Гистограмма и CDF с.э.и.м. для эталонной модели П-МП ВП-ФС

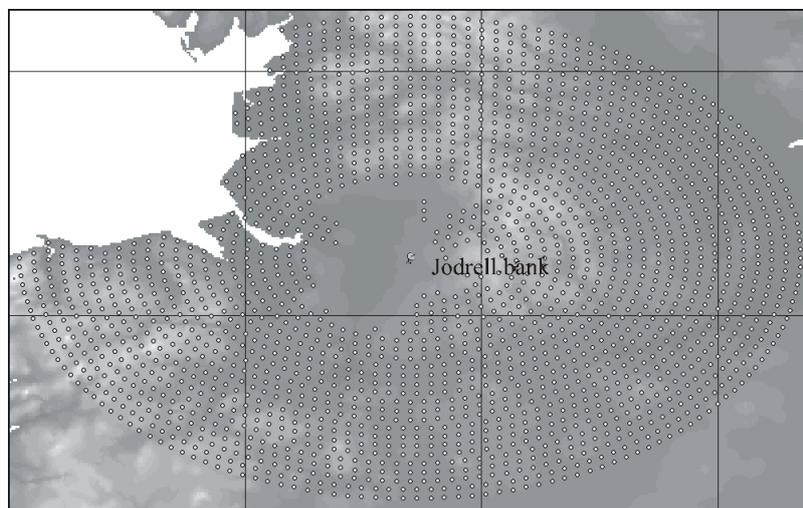


Каждый ФБ представлял все передачи в пределах зоны размером 4×4 км.

Предполагалось, что оборудование пользователя расположено на 5 м выше окружающей местности и ослабление сигнала ОоВ определено равным 46,79 дБ относительно внутрисполосных излучений.

EZ на основе $L_{452}(10\%) \geq 161$ дБ соответствует области развертывания (DA) контрольных пунктов, как показано на рисунке 4.

РИСУНОК 4

DA для EZ, определенной по критерию $L_{452}(10\%) \geq 161$ дБ

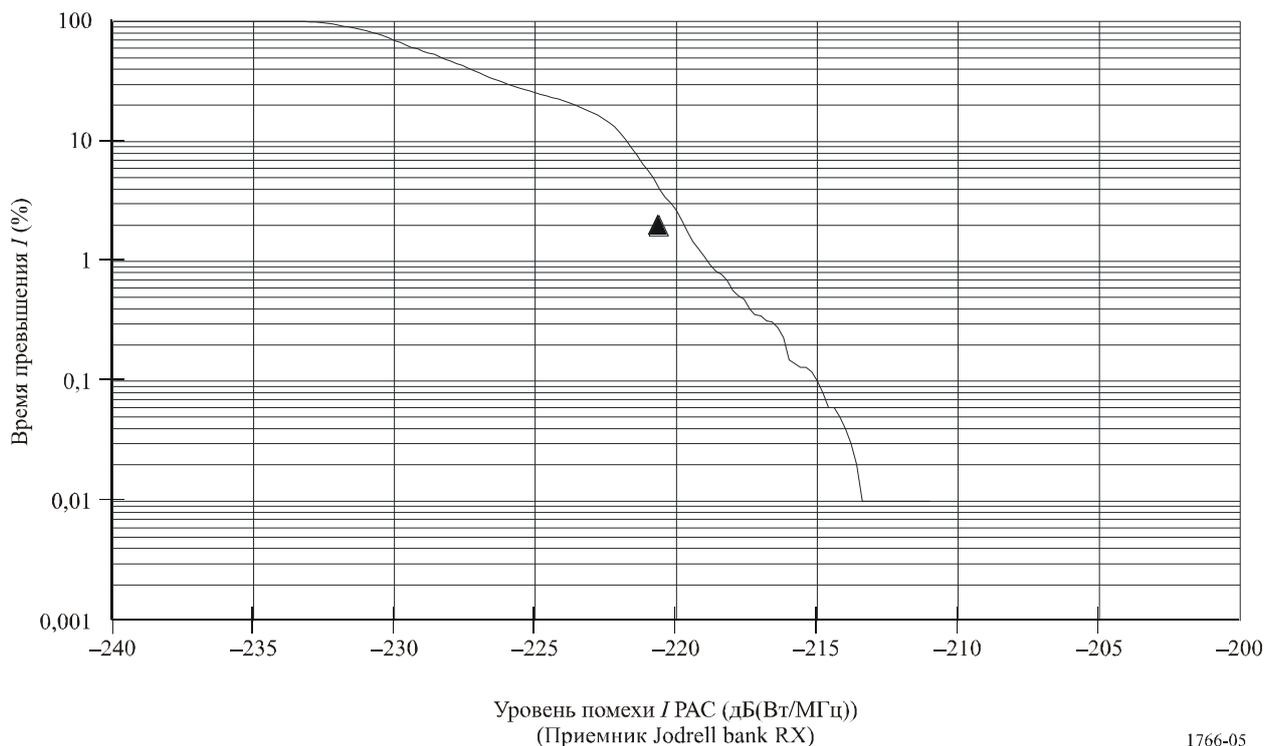
1766-04

Расчетный уровень помех

Распределение уровня помехи в зависимости от вероятности превышения этого уровня помехи было рассчитано по 10 000 выборкам, используя параметры, определенные выше. Этот график показан на рисунке 5. Пороговый уровень для РАС представлен на этом графике в виде треугольной метки.

РИСУНОК 5

Пример CDF помехи РАС от П-МП ВП-ФС

**Результат применения методики**

Рассчитанное значение $P_{ob} = 4\%$ превышает необходимый уровень 2% . Поэтому EZ следовало бы увеличить для защиты обсерватории РАС.

Приложение 2

**Методика определения запретной зоны (EZ) вокруг станции РАС,
установленной на основе потерь при распространении радиоволн
от станции РАС, вне которой могут быть развернуты
станции П-МП ВП-ФС в отсутствие вероятности помех РАС**

В данном Приложении приведена методика, которая может использоваться для определения запретной зоны EZ вокруг станции РАС для передающих станций П-МП ВП-ФС и которая может использоваться администрациями в национальных и двусторонних переговорах в качестве метода защиты станций РАС от потенциальных помех, создаваемых станцией П-МП ВП-ФС.

1 Запретная зона по критерию потерь при распространении радиоволн

Метод защиты от помех служб типа РАС должен определять запретную зону (EZ) вокруг станции, в пределах которой передача не разрешается. Один из подходов по определению EZ основан на расстоянии, но он может привести к большим EZs, поскольку часто используются наихудшие случаи азимутов, для которых требуются большие расстояния разделения.

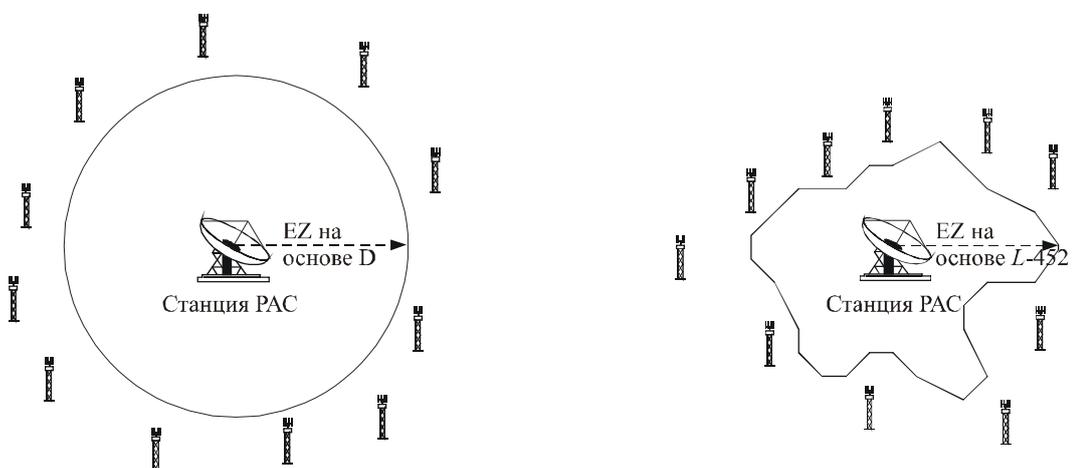
Существует более эффективный подход для определения EZs на основе потерь при распространении радиоволн, при котором требуемое расстояние разнесения изменяется в зависимости от азимута. Координационные контуры учитывают уровень потерь при распространении радиоволн, принимая во внимание различные характеристики распространения радиоволн над поверхностью земли и моря. Этот подход может быть расширен при использовании рельефа местности и подробной модели распространения радиоволн, аналогично описанной в Рекомендации МСЭ-R P.452.

Тогда EZ определяется путем разрешения передачи в местах, для которых потери распространения радиоволн до станции РАС согласно расчету по Рекомендации МСЭ-R P.452, или L_{452} , для указанного процента от времени, например 10%, больше чем заданное значение, т. е.:

$$L_{452}(10\%) \geq X \text{ дБ.} \quad (3)$$

На рисунке 6 представлены примеры развертывания П-МП ВП-ФС вне EZs, определенных по критериям расстояния и L_{452} .

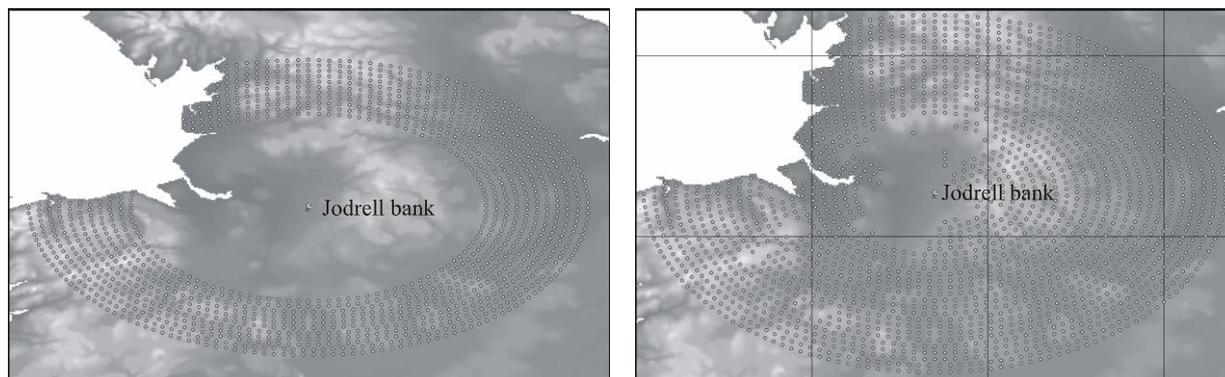
РИСУНОК 6

EZs согласно критериям расстояния и L_{452} 

1766-06

Обычно EZs, основанные на L_{452} , имеют меньшие размеры, чем основанные на расстоянии. Например, оба развертывания, показанные на рисунке 7, защищают станцию РАС от помех при той же самой эталонной модели П-МП ВП-ФС.

РИСУНОК 7

Пример EZs согласно критериям расстояния и L_{452} 

1766-07

В обоих случаях контрольные пункты, расположенные в море, были исключены. Для этих двух случаев примеры EZs были определены согласно таблице 6:

ТАБЛИЦА 6

Сравнение подходов к EZ, используя результаты примеров

Тип EZ	Основанный на расстоянии	Основанный на $L_{452}(10\%)$
Параметр EZ	$D \geq 66$ км	$L_{452}(10\%) \geq 176$ дБ
Размер EZ	14 186 км ²	5 162 км ²

Поэтому EZs, основанные на $L_{452}(10\%)$, являются эффективным и гибким методом защиты от помех служб типа РАС.

2 Определение размера защитной зоны (EZ)

Определение приемлемого значения X для EZ, при котором $L_{452}(10\%) \geq X$ защитило бы РАС, требует итеративной процедуры, как показано пошагово ниже. Алгоритм использует методику Приложения 1 к данной Рекомендации для вычисления P_{ob} , вероятности получения помех при наблюдении РАС для конкретного значения X .

Шаг 1: Провести начальную оценку X_1 (например, $X_1 = 200$ дБ).

Шаг 2: Рассчитать вероятность получения помех при наблюдении от развертывания П-МП ВП-ФС $P_{ob-1} = P_{ob}(X_1)$, используя ДА, определенную местоположениями, для которых $L_{452}(10\%) \geq X_1$.

Шаг 3: Если $P_{ob-1} > 2\%$ (пороговый уровень для РАС), берем следующую оценку $X_2 = X_1 + 16$ дБ.

Шаг 4: Если $P_{ob-1} < 2\%$ (пороговый уровень для РАС), берем следующую оценку $X_2 = X_1 - 16$ дБ.

Шаг 5: Повторять Шаги 2–5 до тех пор, пока значения X_n и X_{n+1} приведут к попаданию необходимого порога 2% в вилку между значениями P_{ob-n} и P_{ob-n+1} .

Шаг 6: Сближать значения X_n и X_{n+1} до получения разницы между этими двумя значениями в 1 дБ, т. е. $|X_n - X_{n+1}| = 1$ дБ.

Шаг 7: Результатом является наибольшее значение из X_n и X_{n+1} , т. е. значение, для которого $P_{ob} < 2\%$.

ПРИМЕЧАНИЯ:

- а) Для поиска пары X_n , дающих искомуювилку, могут применяться ступени меньше или больше чем по 16 дБ, если допустимо.
- б) Хотя можно продолжать повторять процесс итерации так, что разница между X_n и X_{n+1} становится меньше 1 дБ, следует отметить, что модель распространения радиоволн в Рекомендации МСЭ-R P.452 имеет пределы точности.

3 Типы EZ

3.1 Эталонные модели П-МП ВП-ФС

Размер EZ будет зависеть от эталонной модели П-МП ВП-ФС, которая определена распределением с.э.и.и.м. и высотой подвеса антенн. Данная высота используется при оценке $L_{452}(10\%)$, и EZ действительна для антенн, установленных на высоте, меньшей или равной этой.

В пределах полосы частот можно рассмотреть ряд различных эталонных моделей П-МП ВП-ФС, например, учитывая:

- конфигурацию: связь пункта со многими пунктами (П-МП) или много пунктов со многими пунктами (МП-МП);
- направление: линия вверх (UL) или линия вниз (DL);
- обстановку: городская сеть высокой плотности или сельская малой плотности.

Каждая эталонная модель приводит к различным размерам EZ, при этом может получиться набор, как в таблице 7.

ТАБЛИЦА 7

EZs для ряда эталонных моделей П-МП ВП-ФС

Система П-МП ВП-ФС	EZ	Максимальная высота
Эталонная модель-1	$EZ: L_{452}(10\%) \geq X_1$	Высота $\leq H_1$
:	:	:
Эталонная модель-n	$EZ: L_{452}(10\%) \geq X_n$	Высота $\leq H_n$

Станция РАС может быть защищена или при использовании наибольшего размера EZ и соответствующей высоты подвеса антенн, или, применяя каждую эталонную модель с собственной EZ (например, при сегментации полосы частот). Для обеспечения эффективности каждая EZ должна соответствовать допущениям, используемым в эталонных моделях для получения значений с.э.и.и.м.

3.2 EZs на основе использования демографического фактора

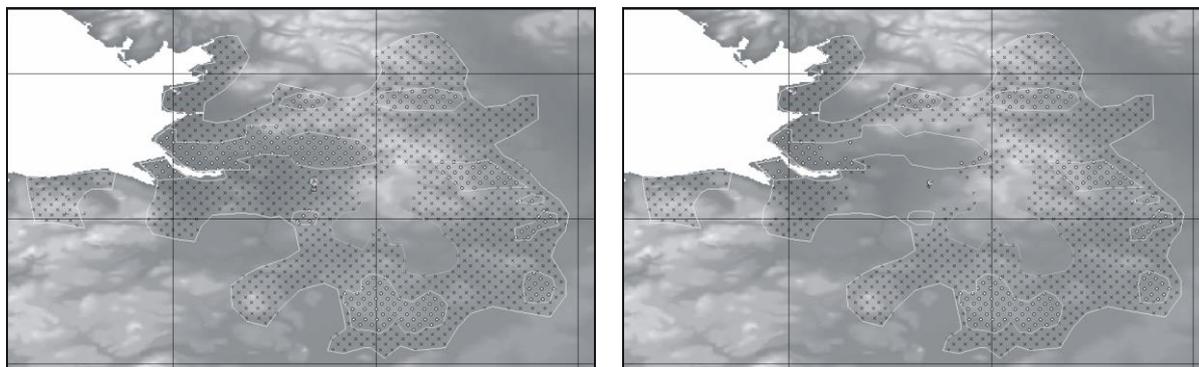
Область развертывания (DA), рассмотренная выше, предполагала однородное распределение внутри одной эталонной модели вокруг станции РАС. Это предположение может привести к консервативным ситуациям, например, к развертыванию П-МП станции ВП-ФС в горных областях. Эти местоположения, которые вряд ли обеспечат рынок для операторов П-МП ВП-ФС, могли бы создать высокие уровни помех при наличии прямой видимости до станции РАС.

Поэтому было бы более реалистичным исключить местоположения, где не запланированы какие-либо станции П-МП ВП-ФС, и использовать эталонные модели, которые изменяются в зависимости от местоположения.

На рисунке 8 приведен пример, где предусмотрено развертывание двух эталонных моделей в зависимости от плотности населения. Тогда эта DA использовалась бы как отправная точка для расчета необходимой EZ.

РИСУНОК 8

Область развертывания П-МП ВП-ФС вокруг обсерватории "Джорделл-Бэнк" на основе использования демографического фактора: Базовая DA и DA с учетом примера EZ



1766-08

На рисунке 8 эталонные модели П-МП ВП-ФС представлены кружками для городских зон и крестиками для сельских зон.

3.3 Несколько зон

Подход, описанный выше, был основан на единственной EZ: в пределах EZ не разрешались никакие передачи. Эта запретная зона может быть объединена с ограниченной зоной, с различным поведением в каждой:

Неограниченная зона (UZ): В UZ операторы П-МП ВП-ФС могли бы свободно работать, но только в соответствии с ограничениями связующего оператора.

Ограниченная зона (RZ): В пределах RZ операторам П-МП ВП-ФС была бы разрешена передача в соответствии с определенными и согласованными эксплуатационными ограничениями.

Запретная зона (EZ): В пределах EZ никакие передачи П-МП ВП-ФС не допускались бы.

Примеры ограничений в пределах RZ могли бы включать ограничения на направления антенн в пределах определенного угла станции РАС. Это потребовало бы учета нескольких с.э.и.и.м., одну для использования в UZ и одну для использования в RZ.

3.4 Внутриполосные и ОоВ EZs

Данная методика, предназначенная для защиты РАС от работы П-МП ВП-ФС на совпадающих частотах, может также использоваться и для определения EZs для защиты РАС от ОоВ излучений. Алгоритм вычисления вероятности получения помех при наблюдении, P_{ob} , включает показатель для расчета A_{OoB} для учета ослабления между внутриполосными и ОоВ излучениями.

Этот подход может использоваться для создания двух EZs, одну для работы на совпадающих частотах и одну для работы в соседней полосе частот.

Прилагаемый документ 1 к Приложению 2

Пример расчета

В настоящем Прилагаемом документе приведен пример использования методики Приложения 2 для определения EZ, требуемой для защиты обсерватории "Джорделл-Бэнк" от неприемлемых помех от широкомасштабного развертывания сети П-МП ВП-ФС.

Модель РАС

Модель РАС приведена в Прилагаемом документе 1 к Приложению 1.

Модель ВП-ФС

Модель П-МП ВП-ФС приведена в Прилагаемом документе 1 к Приложению 1.

Расчет уровня помех

В таблице 8 представлены итерации, необходимые для вычисления размера EZ.

ТАБЛИЦА 8

Итерация размера EZ, используя методики Приложений 1 и 2

Итерация	Размер EZ $L_{452}(10\%) \geq X$ дБ	P_{ob} (%)
1	200	0,0
2	180	0,0
3	160	4,3
4	170	0,1
5	165	0,3
6	162	1,0
7	161	4,0

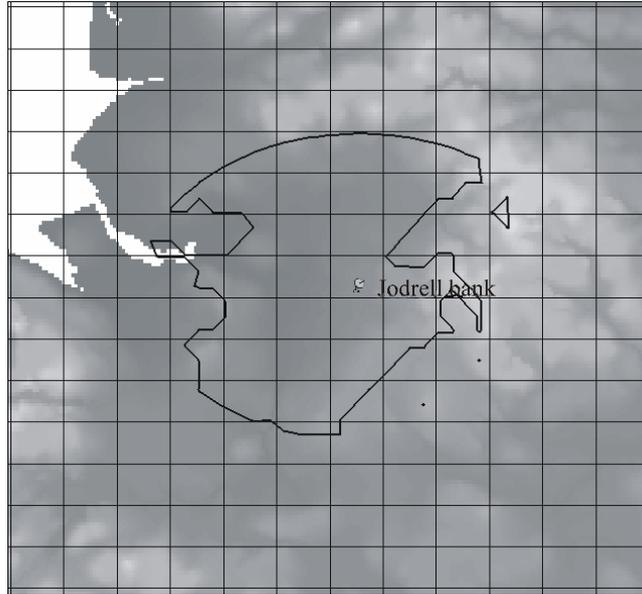
Сделано заключение, что приемлемым размером EZ для защиты РАС, исходя из данного примера эталонной модели П-МП ВП-ФС, служит значение при:

$$L_{452}(10\%) \geq 162 \text{ дБ.}$$

Этот пример EZ представлен на рисунке 9.

РИСУНОК 9

Пример EZ: Контур по критерию L_{452} (10%) = 162 дБ



1766-09
