

Минимальное расстояние для определения напряженности поля при прогнозировании дальности ОВЧ радиосвязи на основе измерений

В. В. Громоздин¹, К. В. Иевлев²

Севастопольский «Испытательный центр «Омега» – филиал ФГУП НИИР

¹gromozdin@niir.ru, ²ivlev@niir.ru

Аннотация. An analysis was made of the distance at which the interference fluctuations in the electromagnetic field intensity differ from the predicted curves in accordance with the recommendations of ITU-R P.1546 by no more than 1dB. This distance was determined for various transmitting antenna heights and a receiving antenna height of 4 m at a frequency of 156.5 MHz.

Ключевые слова: *electromagnetic field strength; Recommendation ITU-R P.1546; radio wave propagation prediction*

I. ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее трудоемких пунктов проведения натурных испытаний береговых объектов системы обеспечения безопасности мореплавания (СОБМ) является определение границ зоны действия средств ОВЧ радиосвязи, в котором должна быть подтверждена уверенная связь не только на границе, указанной в проектной документации на береговой объект, но и на всей площади, ограниченной этой границей. Учитывая, что при этом отдельные удаленные участки могут быть недоступны для проведения испытаний (это и технические условия прохождения судов, и режим временного закрытия некоторых районов, погодные условия и т.д.) вопрос прогнозирования напряженности поля по ограниченному объему измерений является достаточно актуальным.

В настоящее время наиболее полной моделью для прогнозирования напряженности поля в системах подвижной радиослужбы является рекомендация МСЭ-R P.1812 [1], однако ее использование существенно ограничивается сложностью математических моделей, заложенных в ней и необходимостью детального учета рельефа местности. В связи с чем, данная методика используется в основном в специализированных компьютерных программах. Другим подходом является использование статистических моделей на основе эмпирических данных, которые достаточно подробно изложены в рекомендациях МСЭ-R P.2001 [2] и МСЭ-R P.1546 [3]

Одной из трудностей непосредственного использования кривых распространения, приведенных в [3] является неопределенность фактически излучаемой мощности, обусловленная неизвестными потерями в

фидерном тракте, трудностями ее кондуктивного измерения на входе антенны или через напряженность поля на расстоянии 3–5 длин волн на линии расположения антенны вследствие расположения антенны на большой высоте в труднодоступном для таких измерений месте. В связи с этим возникает задача прогнозирования зоны доступности береговой станции ОВЧ связи СОБМ в определенных направлениях на основе измеренных значений на некотором удалении от передающей антенны, значительно меньшем, чем расстояние границы рабочей зоны станции и доступном для проведения измерений. При значительных упрощениях интерференционных формул известно выражение для расстояния $r \approx 2h_{\text{пер}}h_{\text{пр}} / \lambda$, при котором наблюдается первый (дальний от передающей стороны) интерференционный максимум, после которого считается, что осцилляции прекращаются и множитель ослабления монотонно убывает по гиперболическому закону с увеличением расстояния. Однако разница в напряженности поля в этом максимуме и прогнозируемая в соответствии с [3] еще достаточно значительна и не может быть критерием расстояния, после которого можно проводить измерения. Задачей данной работы является определение минимального расстояния, на котором заканчиваются интерференционные колебания напряженности поля за счет отраженного луча от поверхности моря и возможно проведение корректных измерений с целью дальнейшего прогнозирования на более удаленном расстоянии.

II. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований являлось поле излучения в зоне прямой видимости, определенное с помощью интерференционных формул и на основе рекомендаций [3] для практически важного случая при проведении натурных испытаний береговых объектов СОБМ при высоте приемной антенны 4 м и частоте сигнала 156,5 МГц.

III. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Методам прогнозирования радиотрасс посвящено значительное количество научных работ, в которых в общем случае в зависимости от расстояния точки измерения до антенны передающей части принято рассматривать зону прямой видимости, зону полутени и

зону тени. В каждой из этих зон напряженность поля может быть рассчитана с использованием строгой дифракционной теории, которая наиболее полно была рассмотрена в фундаментальных работах А.В. Фока, однако этот расчет представляет собой крайне трудоемкую задачу. При этом интерференционная картина поля наблюдается, как правило в начале освещенной зоны, которая описывается простыми интерференционными формулами [4], хорошо согласующимися с практическими результатами до расстояний приблизительно $0,25R_0$ (где $R_0 = 3571(\sqrt{h_{\text{пр}}} + \sqrt{h_{\text{пер}}})$ – расстояние прямой видимости).

При корректировке высот установки антенн с учетом кривизны земли («приведенные высоты») и при определенных значениях высоты установки антенн эти формулы адекватно отражает зависимость напряженности поля вплоть до расстояний $0,8 R_0$.

На рис. 1 приведены рассчитанные напряженности поля по формулам из [4] для $h_{\text{пер}}=1200$ м, $h_{\text{пр}}=10$ м, а также кривые, приведенные в [3] для частоты 100 МГц на морской трассе 50% времени, для которого требуется прогноз. Мощность излучения $P=1$ кВт.

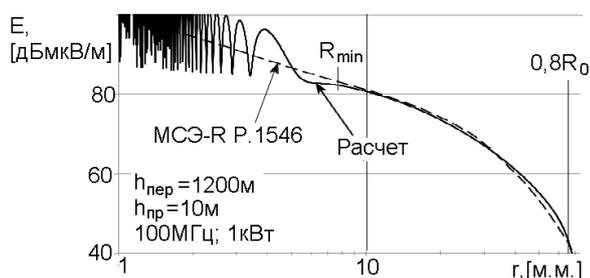


Рис. 1. Зависимость напряженности поля от расстояния из МСЭ-R P.1546-и расчетная для высоты передающей антенны 1200 м

Из рис. 1 следует, что проведение измерений в зоне интерференции нецелесообразно по причине больших отклонений измеренных значений от медианного значения, на основе которого построены кривые в [3] и для каждого соотношения высот $h_{\text{пер}}$ и $h_{\text{пр}}$ в условиях распространения над морской поверхностью существует минимальное расстояние R_{min} , начиная с которого обеспечивается корректное измерение напряженности поля с целью ее прогнозирования при больших расстояниях. Критерием этого расстояния можно определить значение, при котором интерференционные колебания затухают до значения, когда расчетные значения отличаются от значений, определенных в [3] не более, чем на 1 дБ. Более жестко ограничивать это различие нецелесообразно с учетом реально достижимых погрешностей измерения значения напряженности ЭМП.

Вывод аналитического выражения зависимости минимального расстояния R_{min} от расстояния между антеннами и высотами их установки, является достаточно сложной задачей, поэтому проведен численный расчет R_{min} для наиболее практически значимого случая расположения приемной антенны на высоте $h_{\text{пр}}=4$ м над

морской поверхностью при частоте сигнала ОВЧ связи СОБМ – 156,5МГц для различных значений высоты установки передающей антенны $h_{\text{пер}}$. Результаты численных расчетов в виде графика приведены на рис. 2.

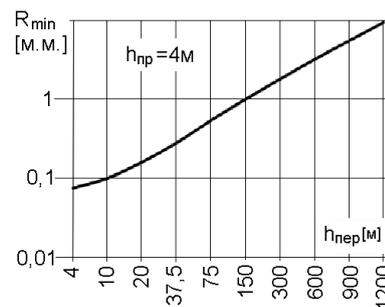


Рис. 2. Зависимость R_{min} от высоты передающей антенны

На рис. 2 приведены результаты экспериментальных измерений напряженности поля вдоль трассы распространения при высоте установки передающей антенны $h_{\text{пер}}=1200$ м и $h_{\text{пр}}=4$ м при мощности передатчика $P=10$ Вт над поверхностью теплого моря.

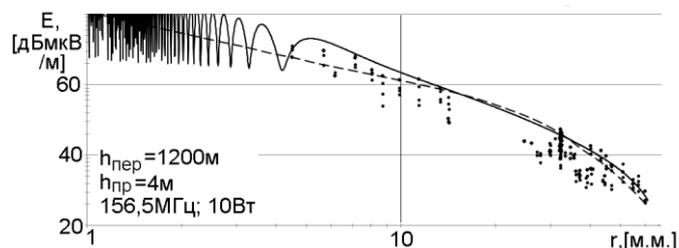


Рис. 3. Экспериментальные результаты при $h_{\text{пр}}=4$ м и $h_{\text{пер}}=1200$ м на частоте 156,5МГц над теплым морем

Результаты измерений в целом подтверждают утверждение о том, что измерения в зоне интерференции в некоторых случаях превышают статистическую кривую по [3]. Следует отметить общее снижение медианного значения напряженности ЭМП по сравнению с расчетной кривой, что вероятно обуславливается фактически меньшей излучаемой мощностью по сравнению с заявленной вследствие увеличенных потерь в антенно-фидерном тракте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Рекомендация МСЭ-R P.1812. Метод прогнозирования распространения сигнала на конкретной трассе для наземных служб «из пункта в зону» в диапазонах УВЧ и ОВЧ.
- [2] Рекомендация МСЭ-R P.2001. Универсальная модель наземного распространения радиоволн для широкого применения в полосе частот 30 МГц – 50 ГГц.
- [3] Рекомендация МСЭ-R P.1546. Метод прогнозирования для трасс связи "пункта с зоной" для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц
- [4] Основы теории антенн и распространение радиоволн: учебное пособие / В.П. Кубанов, В.А. Ружников, М.Ю. Сподобаев, Ю.М. Сподобаев; Под ред. В.П. Кубанова. Самара; ООО «Офорт», 2016. 258 с.:ил.