

# Расчёт множественных дифракционных потерь при распространении ОВЧ-радиосигналов между городами Елец и Липецк на основе метода Эпштейна – Петерсона и МСЭ

И. В. Пешков, email: ilvpeshkov@gmail.com<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина

***Аннотация.** В статье обсуждается проблема трансляции радиоволн ультракоротковолнового (УКВ) диапазона с учётом возникновения препятствий на пути прямого распространения. Представлены результаты расчёта дифракционных потерь УКВ-радиосигналов на трассе распространения г. Елец – г. Липецк. За основу взят метод Эпштейна-Петерсона совместно с моделью одиночного клиновидного препятствия Международного союза электросвязи (МСЭ) для вычисления множественных дифракционных потерь на рассматриваемой трассе. Для исследования использовалось тринадцать изолированных клиновидных препятствий, расположенных в линии связи с длиной пути 70 км.*

***Ключевые слова:** Дифракция, УКВ, Распространение радиоволн, Выражение Френеля - Кирхгофа, Метод Эпштейна-Петерсона.*

## Введение

Целью данной работы является расчёт дополнительных потерь, которые возникают, если имеются несколько непрозрачных препятствия на пути распространения радиосигнала. Данные дополнительные к потерям, возникающим вследствие затухания на трассе, появляются, т.к. нет прямой видимости между передатчиком и приёмником на большие расстояния, т.е. возникает такое явление как дифракция [1]. Кроме того, зачастую рельеф местности, вдоль которой распространяются наземные волны УКВ-диапозна, изобилует холмами различного профиля и высоты относительно передатчика или точки прёма. Поэтому для достижения цели необходимо решить несколько поставленных задач:

- Оценить рельеф между передатчиком и приёмником;
- Ознакомиться с рекомендациями МСЭ для оценки дифракционных потерь для одиночного клиновидного препятствия;
- Изучить имеющиеся алгоритмы оценки множественных дифракционных потерь;

- Вычислить дифракционные потери на трассе между городами Елец и Липецк.

Таким образом, в данной работе на основе формул математической физики, а также численных методов осуществляется расчёт дифракционных потерь, вследствие наличия тринадцати непрозрачных препятствий. Процедура вычисления заключается в последовательном расчёте потерь для каждого препятствия на базе процедуры Эпштейна-Петерсона и рекомендаций Международного союза электросвязи. Препятствия взяты на реальной трассе между городами Елец и Липецк для оценки полных потерь, включая затухание, с целью выработки решений по повышению надёжности и помехоустойчивости УКВ-радиосвязи.

### 1. Методы исследования

На рис. 1 показан холм высотой  $h$ , расположенный между передающей и приемной антеннами. Этот холм можно смоделировать как полуплоскость или единичное клиновидное препятствие. Предполагается, что от вершины холма нет зеркального отражения. Также предполагается, что холм блокирует любые возможные отражения от земли, которые достигают приемной антенны. Таким образом, полученное поле состоит только из членов прямого пути и дифракционного пути.  $h_c$  - высота просвета от данного препятствия до прямого луча.

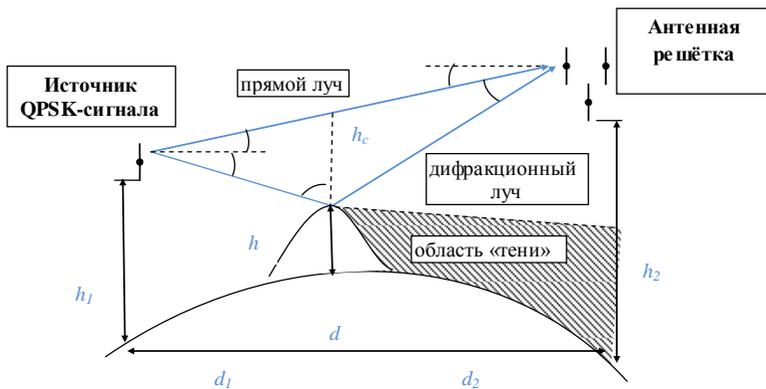


Рис. 1. Цифровая антенная решетка с использованием модели одиночного препятствия

Значение  $h_c$  для  $n$ -й точки профиля определяется по формуле [2]:

$$H_c \approx h_c \sqrt{\frac{2d}{\lambda d_1 d_2}} \quad (1)$$

где

$$h_c = h_n + \left[ \frac{d_{an} d_{nb}}{2r_e} \right] - \left[ \frac{(h_a d_{nb} + h_b d_{an})}{d_{ab}} \right] \quad (2)$$

здесь  $h_a$ ,  $h_b$ ,  $h_n$  - вертикальные высоты, как показано на рис. 2,  $d_{an}$ ,  $d_{nb}$ ,  $d_{ab}$  - горизонтальные расстояния, как показано на рис. 2,  $r_e$  - эквивалентный радиус Земли;  $\lambda$  - длина волны.

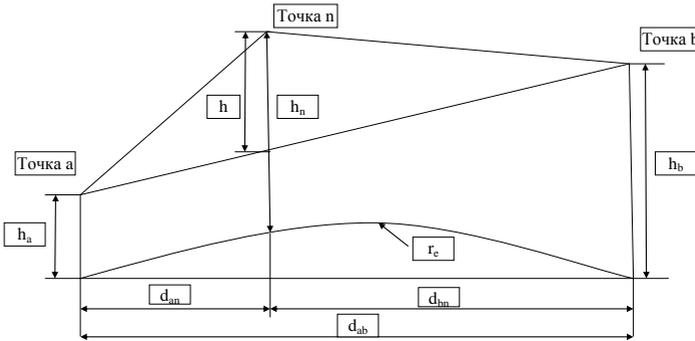
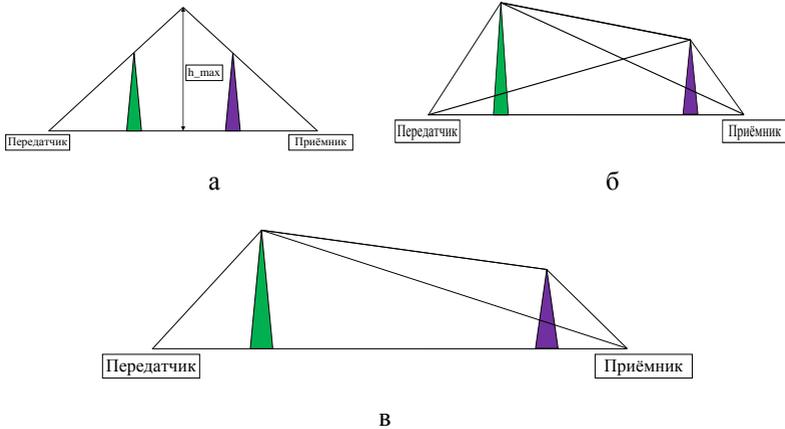


Рис. 2. Геометрия для единичной кромки препятствия

Можно показать, что коэффициент усиления/ослабления на трассе из-за дифракции определяется выражением Френеля – Кирхгофа:

$$F_d = \frac{2}{\sqrt{2}} \left| \int_{-H_c}^{\infty} \exp(-j\pi u^2/2) du \right| \quad (3)$$

Обычно, когда сигнал распространяется от передатчика к приемнику, имеется на поверхности Земли от нуля до нескольких препятствий. Каждое препятствие вызывает дифракцию. Самые известные модели - Буллингтон, Дейгоут и Эпштейн – Петерсон. Модель Буллингтона использует самый простой и наименее точный подход и сводит профиль к одному острiu. Модель Эпштейна-Петерсона рассматривает каждое значительное клиновидное препятствие отдельно и суммирует каждую потерю на дифрагирующем пути. Модель Дейгута определяет доминирующую преграду и рассчитывает все потери относительно него [3-5].



а) Буллинтона, б) Эпштейна-Петерсона, в) Дейгута

Рис. 3. Модели расчёта дифракционных потерь

Таким образом, потери для каждого отдельного объекта преграды суммируются по очереди, используя высоту над пунктирной линией (рис. 2) как эффективную высоту края. Модель Эпштейна – Петерсона является потенциально лучшим методом, но вызывает большие ошибки на путях с близко расположенными кромками [6].

## 2. Результаты

Рассмотрим несколько препятствий, основываясь на географических данных реальной трассы распространения УКВ-радиосигнала. Возьмем за основу расположение источника QPSK-сигнала центр города Елец ( $52^{\circ}37'$  с.ш.  $38^{\circ}28'$  в.д.). Приёмную антенную решётку расположим в центре города Липецк ( $52^{\circ}37'$  с.ш.  $39^{\circ}36'$  в.д.). Для того что бы оценить дифракционные потери на данной трассе, необходимо знать рельеф по прямой линии между данными населенными пунктами. Схематическая диаграмма препятствий с тринадцатью кромками, использованных для числового примера в исследовании, показана на рис. 3.

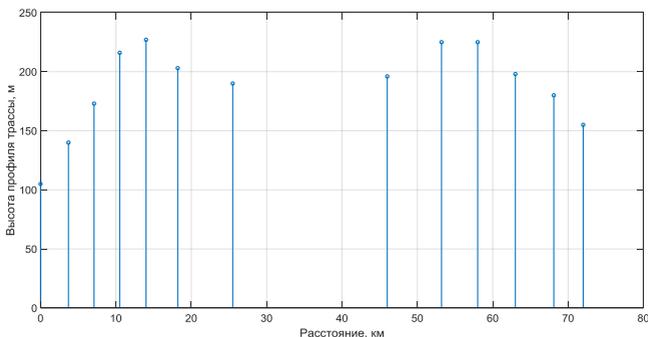


Рис. 4. Схема тринадцати препятствий

Дифракционные потери согласно алгоритму Эпштейна-Петерсона составляют 82,4 дБ после последовательного вычисления по формулам (1-3) на трассе распространения УКВ-радиосигнала, частотой 300 МГц.

### Закключение

В работе проведена оценка рельефа по прямой распространения радиосигнала между городами Елец и Липецк. Выявлены множественные препятствия на данном пути.

Для оценки дифракционных потерь вследствие наличия тринадцати непрозрачных препятствий использовались процедура Эпштейна – Петерсона, а также рекомендации Международного союза электросвязи для вычисления параметра Френеля – Кирхгофа одиночного клиновидного препятствия. Установлено, что на трассе длиной 70 км с тринадцатью препятствиями дополнительно к затуханию возникают также потери величиной 82,4 дБ.

### Список литературы

1. Боков, Л.А. Электродинамика и распространение радиоволн : учеб. пособие / Л.А. Боков, В.А. Замотринский, А.Е. Мандель. - Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2013. – 410 с.
2. Рекомендация МСЭ-R P.526-10. Распространение радиоволн за счет дифракции. <http://www.itu.int/rec/R-REC-P/en>.
3. Bullington, K. Radio propagation at frequencies above 30 megacycles / K. Bullington // Proceedings of the IRE. – 1947. - vol. 35, no. 10. - pp. 1122–1136.
4. Deygout, J. Multiple knife-edge diffraction of microwaves / J. Deygout // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1966. - vol. 14, no. 4. - pp. 480–489.

5. Epstein, J. An experimental study of wave propagation at 850 MC / J. Epstein, D. W. Peterson // Proceedings of the IRE. – 1953. - vol. 41, no. 5. - pp. 595–611.

6. Abdulrasool, A. S., Calculation Algorithm for Diffraction Losses of Multiple Obstacles Based on Epstein–Peterson Approach / A. S. Abdulrasool, J. S. Aziz, S. J. Abou-Loukh // International Journal of Antennas and Propagation. – 2017. - vol. 2017. - Article ID 3932487. - 9 p.