

Методи розрахунку радіопокриття систем мобільного зв'язку.

Геращенко О.М.

При проведенні оцінок втрат при розповсюдженні радіосигналу системи мобільного зв'язку, особливо при реалізації у вигляді програмного забезпечення використовується декілька методів.

Перший з них характеризується великою обчислювальною складністю та полягає в декомпозиції поверхні на геометричні фігури в межах визначеного радіусу навколо терміналу мобільного абонента та обчисленні окремо для кожної фігури інтенсивності прийнятого та відображеного від неї сигналу, напрямом відображеного сигналу та різниці фаз між сигналом, що розповсюджується по лінії прямого бачення до точки приймання мобільного терміналу та відображеним сигналом від j -ої фігури. Таким чином проводиться обчислення інтенсивності результуючого інтерференційного сигналу з урахуванням взаємодії сигналу прямого бачення та відображених сигналів в межах визначеної області істотного впливу. Ці методи відносно великої точності і носять назву: Ray Tracing, Ray Launching.

Другий метод використовує алгоритми емпіричних моделей розповсюдження, що отримані шляхом апроксимації експериментальних залежностей інтенсивності прийнятого сигналу залежно від різних умов місцевості, частотного діапазону, висоти антени та ін. Це перш за все такі популярні в інженерних розрахунках моделі, як: Окумура-Хата, модель Лі, модель ITU-R та інші.

В проєкті за основу може бути прийнята будь яка модель, наприклад Окумура-Хата, як найбільш вживана та така, що забезпечує кращу точність. Вона для підвищення точності доповнюється елементами розрахунку радіорелейних ліній, врахуванням впливу земної поверхні, дифракції на краях перешкод, втратами при розповсюдженні через рослинність.

Оскільки, метою проєкту є створення програмного засобу для оцінки та оптимізації показників якості системи вздовж автошляхів та прилеглої місцевості, тип місцевості має характер відкритої рівнинної та сільської в межах населеного пункту. З урахуванням цього класичний вигляд моделі:

$$L(r)_{dB} = A + B \lg(r) - C \quad \text{для пригородної місцевості}$$

$$L(r)_{dB} = A + B \lg(r) - D \quad \text{для відкритої місцевості}$$

Коефіцієнти визначаються:

$$A = 69.55 + 26.16 \lg(f) - 13.82 \lg(h_{BS}) - \alpha(h_{MS})$$

$$B = 44.9 - 6.55 \lg(h_{BS})$$

$$C = 2 \lg(f/28)^2 + 5.4$$

$$D = 4.78(\lg(f))^2 - 19.33 \lg(f) + 40.94$$

$\alpha(h_{MS})$ - параметр, що враховує вплив висоти антени мобільного абонента.

Даний вигляд моделі вживається, якщо частота радіосигналу лежить в межах 150 – 1500 МГц, отже вона придатна для розрахунку мережі GSM-900, для розрахунку сигналу GSM-1800 використовується розширена модель COST-Okumura-Nata з діапазоном 1500 – 2000 МГц.

Вона має вигляд:

$$L(r)_{dB} = 46.3 + 33.9 \lg(f) - 13.82 \lg(h_{BS}) - \alpha(h_{MS}) + (44.9 - 6.55 \lg(h_{BS})) \lg(r)$$

Характерні типи радіотрас BS – MS.

При проведенні оцінки втрат при розповсюдженні сигналу необхідно враховувати локацію мобільного абонента відносно БС та характеристики радіотраси. Необхідно зазначити, що характер траси для рухомого абонента швидко змінюється. Можна навести приклади ймовірних варіантів радіотраси.

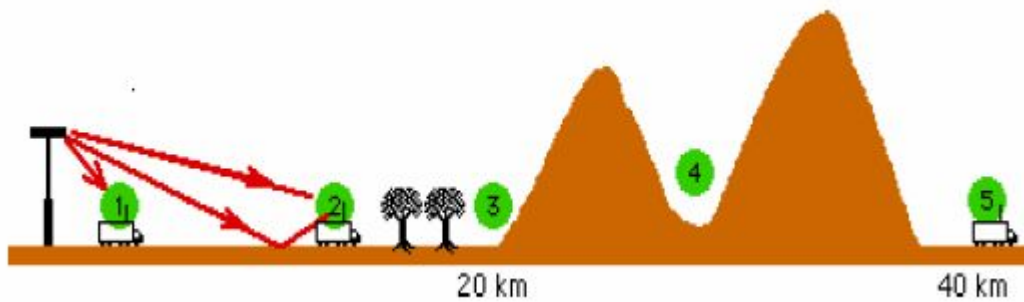


Рис 1. Можливі місцезнаходження абонента відносно БС

- локація 1: абонент знаходиться біля БС, існує лінія прямого бачення, гарні умови розповсюдження сигналу;
- локація 2: абонент знаходиться на відстані, де існує лінія прямого бачення та відображений від поверхні промінь. Тут застосовується двопромінева модель. Характерною рисою цього становища є ймовірність як підсилення інтенсивності сигналу за рахунок інтерференції так і зменшення;
- локація 3: моделюється врахуванням механізму розповсюдження через рослинність;
- локація 4: враховуються дифракційні втрати на одній перешкоді;
- локація 5: враховуються дифракційні втрати на кількох перешкодах.

В даному проекті аналізуються можливі ситуації розповсюдження радіосигналу та доповнюється базова модель для підвищення точності прогнозування покриття.

1. Для відкритої рівнинної радіотраси використовується двопромінева модель та проводиться розрахунок втрат при розповсюдженні сигналу по лінії прямого бачення з врахуванням інтерференції сигналу, відображеного від земної поверхні.

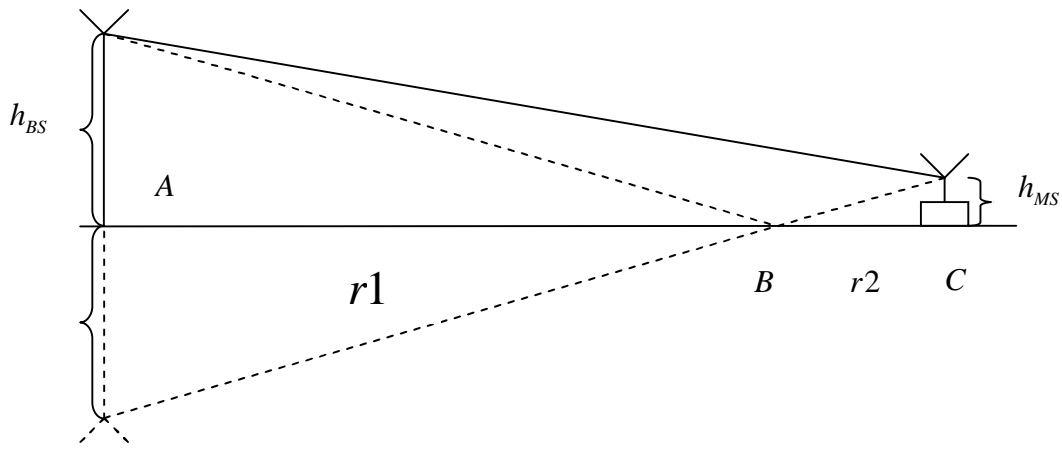


Рис 2. Двопромінева модель

Побудова відображеного променя відбувається за методом уявного джерела сигналу. Використання даної моделі та розрахунок різниці фаз між сигналом лінії прямого бачення (LOS) та сигналом, відображеним від поверхні дозволяє скорегувати базову модель, доповнюючи її врахуванням інтерференційної складової. Взаємодія цих двох сигналів призводить до підсилення або послаблення інтенсивності результуючого сигналу, і, відповідно, бюджету радіолінії.

Різниця ходу променів розраховується за формулою:

$$\Delta = \frac{2 \cdot h_t \cdot h_r}{d}, \text{ м.}$$

Різниця фаз визначається:

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi \Delta}{\lambda}.$$

Отже, потужність результуючого сигналу визначається:

$$P_{\Sigma} = 2P_0 \cdot \sin \frac{\Delta \varphi}{2}, \text{ Вт}$$

або коефіцієнт підсилення/послаблення дорівнює:

$$k = 2 \sin \frac{\Delta \varphi}{2}$$

В данному разі не враховується поглинання сигналу земною поверхнею, при урахуванні :

$$k' = \Phi \cdot k$$

де Φ – коефіцієнт відображення $\Phi < 1$, він враховує втрати на розсіянні та поглинанні.

Таким чином сумарні втрати дорівнюють $L(r)_\Sigma = L(r) \cdot \frac{1}{k}$

2. На практиці профіль радіотраси має дещо складніший характер завдяки коливанням рельєфу місцевості. В такому випадку його характер постійно змінюється для рухомого абонента, крім того змінюються деякі параметри розповсюдження сигналу. Нижче приведено приклад реальної ситуації та послідовність розрахунку радіотраси.

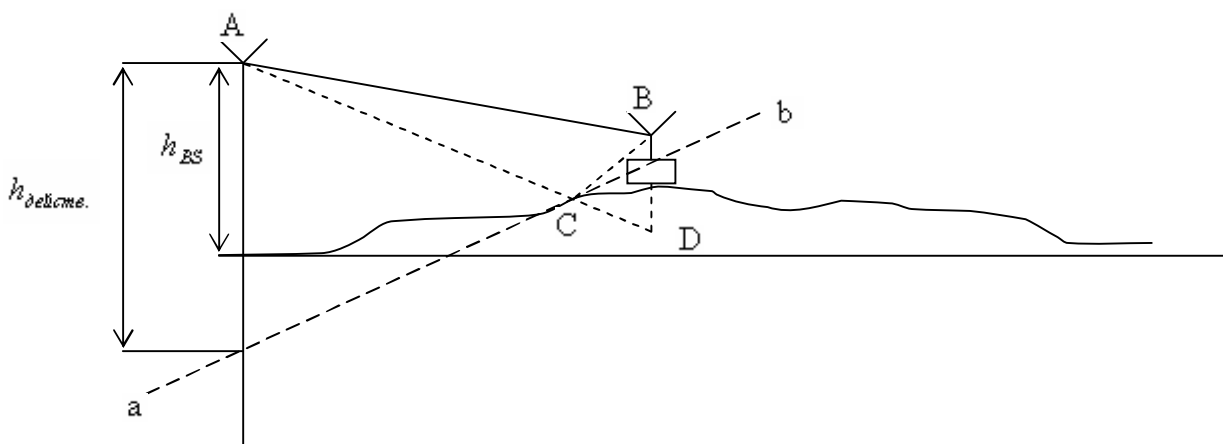


Рис 3. Двопромінева модель в реальній ситуації

Для врахування впливу рельєфу на теоретичну двопроміневу модель проводять ряд додаткових кроків:

- відносно мобільного терміналу будують за методом фіктивного джерела лінію AD, завдяки якій знаходять відображений промінь BC.
- в точці відображення будують дотичну ab та продовжують її до перетинання з антенами базової станції та мобільного абонента.
- вводять поняття ефективної висоти антени. Залежно від рельєфу, положення абонента вона може перевищувати реальну висоту або бути меншою. В данному

разі з рис видно, що для антени БС ефективна висота більша за реальну, а для МС нижча.

- при розрахунку радіолінії вводять коефіцієнт зменшення(збільшення) коефіцієнта підсилення антени БС залежно від ефективної висоти антени БС.

$$\Delta g = 20 \lg \frac{h_{\text{эфф}}}{h_{\text{BS}}}$$

- далі розраховують вплив відображеного променя на інтенсивність прийнятого сигналу за вищевикладеним методом з тією різницею, що замість реальних висот антен враховуються ефективні.

З вищеприведеного видно, що завдяки інтерференції двох або більшої кількості промінів може постати така ситуація, коли інтенсивність сигналу за теоретичною зоною обслуговування БС однієї соти значно підвищується, таким чином постає так званий “острів” всередині зони обслуговування другої БС.

3. Вищевикладені розрахунки застосовуються на ділянці траси прямого бачення. Якщо на лінії прямого бачення зустрічаються перешкоди, то до загальних втрат за базовою моделлю додаються дифракційні втрати. До таких перешкод належать неоднорідності земної поверхні, будівлі. Нижче приводиться приклад проходження радіохвилі з урахуванням впливу дифракції.

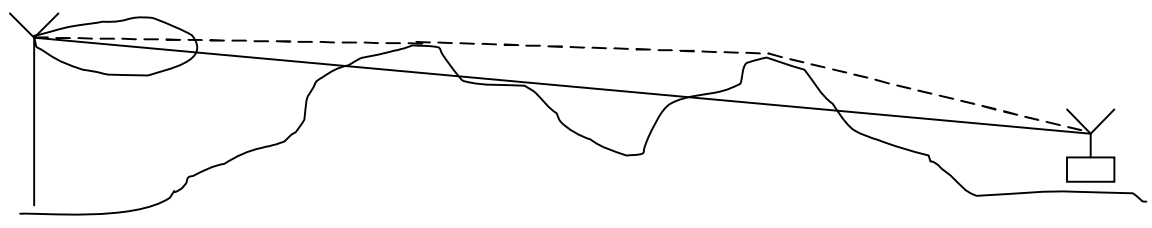


Рис 4. Модель з урахуванням дифракційних втрат.

При розрахунку дифракційних втрат перешкода в моделі розповсюдження може бути кількох типів:

- ідеалізовано представлена у вигляді клину (knife-edge obstacle) . Причому місце дифракції розглядається як точка. Така ідеалізація зменшує точність розрахунків,

але спочує загальну модель розповсюдження. Таким чином розповсюдження радіохвилі через перешкоду може бути зображено:

Профіль траси на ділянці перетину лінією прямого бачення перешкоди апроксимується вертикальною лінією і розрахунки дифракційного коефіцієнта проводяться з урахуванням дифракції на ферхівках цих ліній.

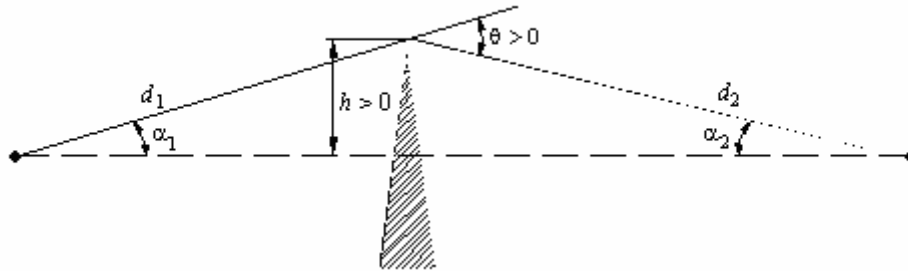


Рис 5. Модель «Knife-edge»

Дифракційний коефіцієнт розраховується за однією з формул:

$$v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}$$

$$v = \theta \sqrt{\frac{2}{\lambda \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 h \theta}{\lambda}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 d}{\lambda}} \cdot \alpha_1 \alpha_2$$

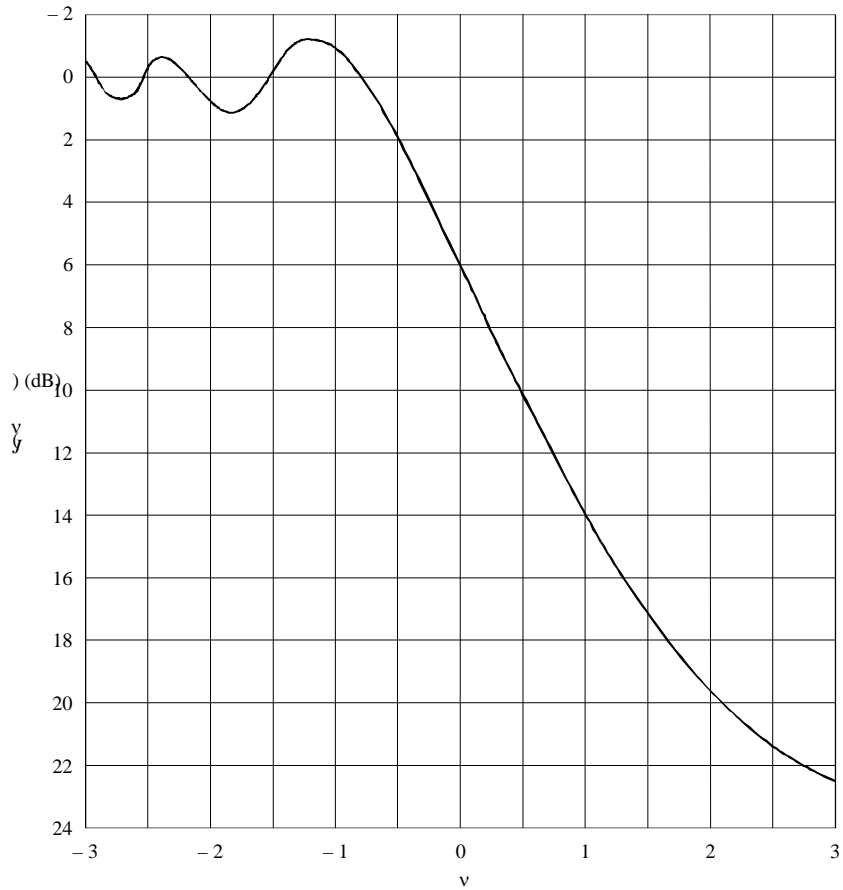
де v – дифракційний коефіцієнт

h – висота між вищою точкою перешкоди та лінією прямого бачення

d_1, d_2 – відстані від антен БС та МС до верхівки перешкоди

Загальні дифракційні втрати приведені у вигляді залежності від дифракційного коефіцієнта

Knife-edge diffraction loss

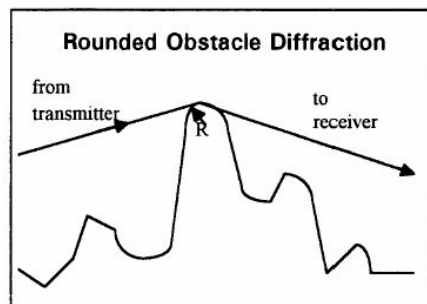


0526-07

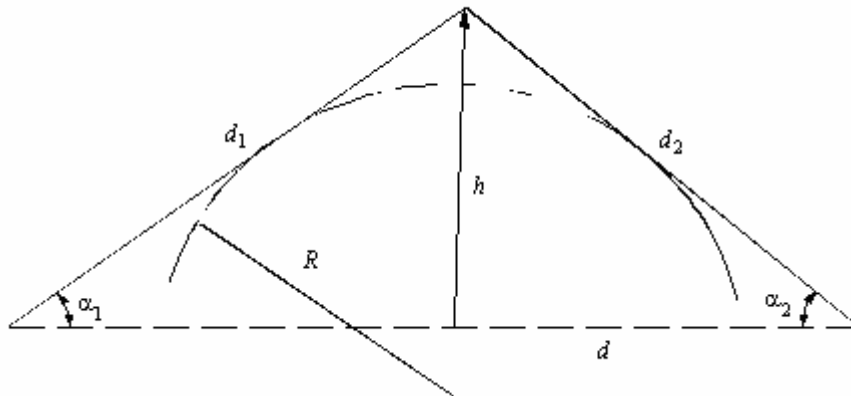
Дана залежність була апроксимована:

Diffraction parameter (v)	$F_{diffraction}$ [dB]
$v \leq -1$	$F_{diffraction} = 0$
$-1 \leq v \leq 0$	$F_{diffraction} = 20 \log(0.5 - 0.62v)$
$0 \leq v \leq 1$	$F_{diffraction} = 20 \log(0.5e^{-0.95v})$
$1 \leq v \leq 2.4$	$F_{diffraction} = 20 \log\left(0.4 - \sqrt{0.1184 - (0.38 - 0.1v)^2}\right)$
$v > 2.4$	$F_{diffraction} = 20 \log\left(\frac{0.225}{v}\right)$

- другою, більш реальною моделлю є модель перешкоди з круглою верхівкою.



геометрична модель має вигляд



h – висота над лінією прямого бачення

R – радіус кривизни перешкоди

d – відстань між БС та абонентом

Тоді дифракційні втрати розраховуються за формулою:

$$A = J(v) + T(m, n) \quad \text{dB}$$

$J(v)$ – це коефіцієнт втрат при розповсюдженні для еквівалентної моделі клину, розраховується за вищенаведеними формулами.

$T(m, n)$ – це додатковий коефіцієнт втрат, завдяки кривизні перешкоди

$$T(m, n) = k m^b$$

де:

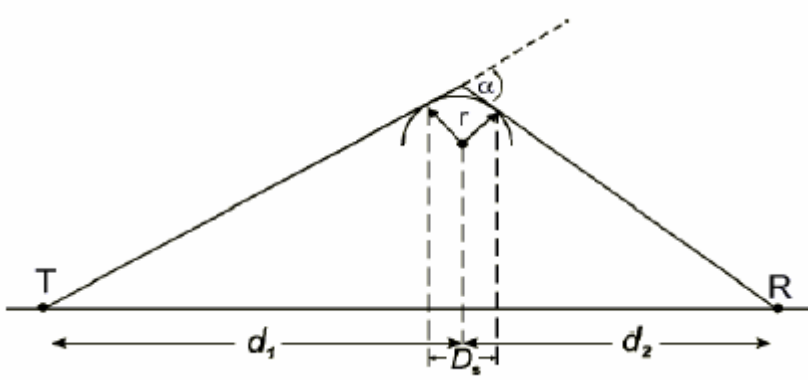
$$k = 8.2 + 12.0 n$$

$$b = 0.73 + 0.27 [1 - \exp(-1.43 n)]$$

$$m = R \left[\frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right] \left/ \left[\frac{\pi R}{\lambda} \right]^{1/3} \right.$$

$$n = h \left[\frac{\pi R}{\lambda} \right]^{2/3} \left/ R \right.$$

Радіус верхівки перешкоди може бути визначений таки чином:



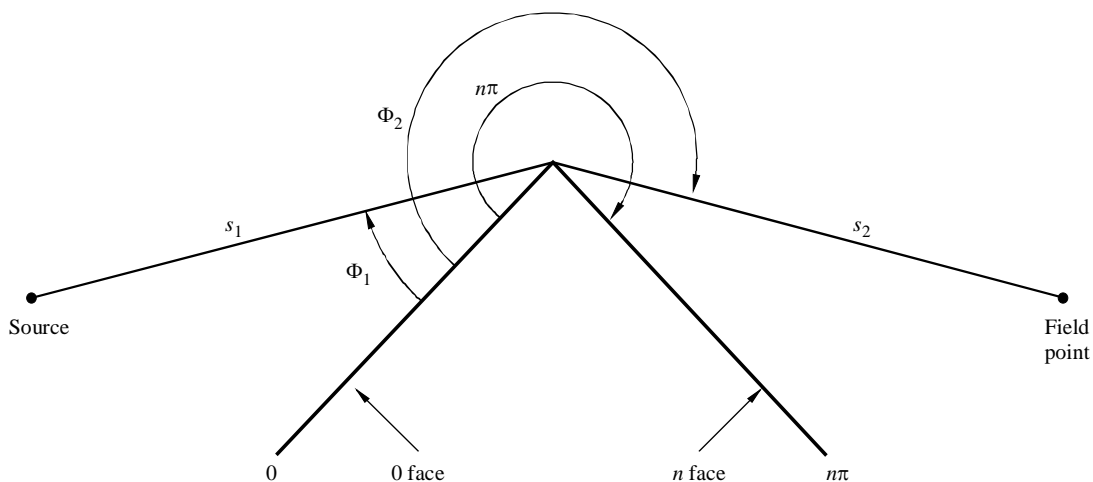
$$r = \frac{2D_s d_1 d_2}{\alpha(d_1^2 + d_2^2)}$$

- модель кінцевої провідної клиновидної неоднорідності

Данна модель є найбільш реальною, враховує питому провідність та діелектричну постійну перешкоди. Вона може бути пристосована для розрахунку втрат при дифракції на кутах будинків, трикутних дахах будинків, скелястих перешкодах.

Геометрично модель має вигляд та задається рядом показників:

FIGURE 12
Geometry for application of UTD wedge diffraction



0526-12

Загальна формула для розрахунку втрат має вигляд, Дифракційний коефіцієнт є комплексною величиною :

$$L_{UTD} = 20 \lg \frac{\exp(-jks_1)}{s_1} D_{\parallel}^{\dagger} \cdot \sqrt{\frac{s_1}{s_2(s_1 + s_2)}} \cdot \exp(-jks_2)$$

$$k=2\pi/\lambda$$

D_{\parallel}^{\perp} - коефіцієнт, що залежить від виду поляризації, він визначається :

$$D_{\parallel}^{\perp} = \frac{-\exp(-j\pi/4)}{2n\sqrt{2\pi k}} \left\{ \begin{array}{l} \cot\left(\frac{\pi + (\Phi_2 - \Phi_1)}{2n}\right) \cdot F(kLa^+(\Phi_2 - \Phi_1)) \\ + \cot\left(\frac{\pi - (\Phi_2 - \Phi_1)}{2n}\right) \cdot F(kLa^-(\Phi_2 - \Phi_1)) \\ + R_0^{\perp} \cdot \cot\left(\frac{\pi - (\Phi_2 + \Phi_1)}{2n}\right) \cdot F(kLa^-(\Phi_2 + \Phi_1)) \\ + R_n^{\perp} \cdot \cot\left(\frac{\pi + (\Phi_2 + \Phi_1)}{2n}\right) \cdot F(kLa^+(\Phi_2 + \Phi_1)) \end{array} \right\}$$

n : коефіцієнт кута (actual angle = $n\pi$ (rad))

$F(x)$ - інтеграл Френеля, який апроксимується $F(X) = \sqrt{\frac{\pi}{2}}A(x)$, де

$$A(x) = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{1-j}{2} - \exp(-jx) \sqrt{\frac{x}{4}} \sum_{n=0}^{11} \left[(a_n + jb_n) \left(\frac{x}{4}\right)^n \right] & \text{if } x < 4 \\ -\exp(-jx) \sqrt{\frac{4}{x}} \sum_{n=0}^{11} \left[(c_n + jd_n) \left(\frac{4}{x}\right)^n \right] & \text{otherwise} \end{array} \right\}$$

коефіцієнти a, b, c, d

$a_0 = +1.595769140$	$b_0 = -0.000000033$	$c_0 = +0.000000000$	$d_0 = +0.199471140$
$a_1 = -0.000001702$	$b_1 = +4.255387524$	$c_1 = -0.024933975$	$d_1 = +0.000000023$
$a_2 = -6.808568854$	$b_2 = -0.000092810$	$c_2 = +0.000003936$	$d_2 = -0.009351341$
$a_3 = -0.000576361$	$b_3 = -7.780020400$	$c_3 = +0.005770956$	$d_3 = +0.000023006$
$a_4 = +6.920691902$	$b_4 = -0.009520895$	$c_4 = +0.000689892$	$d_4 = +0.004851466$
$a_5 = -0.016898657$	$b_5 = +5.075161298$	$c_5 = -0.009497136$	$d_5 = +0.001903218$
$a_6 = -3.050485660$	$b_6 = -0.138341947$	$c_6 = +0.011948809$	$d_6 = -0.017122914$
$a_7 = -0.075752419$	$b_7 = -1.363729124$	$c_7 = -0.006748873$	$d_7 = +0.029064067$
$a_8 = +0.850663781$	$b_8 = -0.403349276$	$c_8 = +0.000246420$	$d_8 = -0.027928955$
$a_9 = -0.025639041$	$b_9 = +0.702222016$	$c_9 = +0.002102967$	$d_9 = +0.016497308$
$a_{10} = -0.150230960$	$b_{10} = -0.216195929$	$c_{10} = -0.001217930$	$d_{10} = -0.005598515$
$a_{11} = +0.034404779$	$b_{11} = +0.019547031$	$c_{11} = +0.000233939$	$d_{11} = +0.000838386$

$$L = \frac{s_2 \cdot s_1}{s_2 + s_1}$$

$$a^{\pm}(\beta) = 2\cos^2\left(\frac{2n\pi N^{\pm} - \beta}{2}\right)$$

де:

$$\beta = \Phi_2 \pm \Phi_1$$

Величина N^\pm розраховується:

$$N^\pm = \frac{\beta \pm \pi}{2n\pi}$$

R_0^\perp, R_n^\perp - коефіцієнти відображення залежно від виду поляризації

$$R^\perp = \frac{\sin(\Phi) - \sqrt{\eta - \cos(\Phi)^2}}{\sin(\Phi) + \sqrt{\eta - \cos(\Phi)^2}}$$

$$R^\parallel = \frac{b \cdot \sin(\Phi) - \sqrt{\eta - \cos(\Phi)^2}}{b \cdot \sin(\Phi) + \sqrt{\eta - \cos(\Phi)^2}}$$

де:

$$\Phi = \Phi_1 \text{ for } R_0 \text{ and } \Phi = (n\pi - \Phi_2) \text{ for } R_n$$

$$\eta = \varepsilon_r - j \times 18 \times 10^9 \sigma / f$$

ε_r : relative dielectric constant of the wedge material

σ : conductivity of the wedge material (S/m)

f : frequency (Hz).

Таким чином, використовуючи наведені моделі розрахунків на дифракційних перешкодах можна з заданою точністю розрахувати інтенсивність(потужність) прийнятого сигналу та змодельовати реальну картину розповсюдження.

Література:

1. ITU-R 256 Recommendation for diffraction loss prediction
2. Propagation loss through vegetation. Final report for the UK Radiocommunications Agency
3. Improved Radio Propagation Modeling for Cellular Networks in a Rolling Hill Environment – Dissertation
4. Маковеева, Шинаков « Системы мобильной связи»
5. Terrain Analysis with Radio Link Calculations, Computing Science Department Uppsala university