

Додаток 3
до Методики розрахунків
електромагнітної сумісності для
присвоєння радіочастот
радіоелектронним засобам рухомої
служби

(пункт 9 розділу V)

ФОРМУЛИ ТА МОДЕЛІ

для розрахунку базових втрат поширення радіохвиль, які характеризують
різні механізми поширення радіохвиль у різних типах середовищ

1. Розрахунки базових втрат поширення радіохвиль, які характеризують різні механізми поширення радіохвиль

1.1. Для систем зв'язку “точка – точка” базові втрати при поширенні
радіохвиль у вільному просторі розраховуються відповідно до положень
Рекомендації ITU-R P.525 за формулою:

$$L_{free} = 32,4 + 20 \lg f + 20 \lg d, \text{ дБ}, \quad (1)$$

де: f — робоча частота РЕЗ, МГц;

d — відстань між передавачем і приймачем, км.

1.2. Базові втрати поширення радіохвиль на трасах прямої видимості
розраховуються відповідно до Рекомендації ITU-R P.530. Результуюче
значення базових втрат поширення радіохвиль на трасах прямої видимості є
сумою нижченаведених складових, кожна з яких розраховується відповідно до
зазначеної рекомендації:

загасання радіохвиль в атмосферних газах;

дифракційні завмирання, обумовлені частковим або повним закриттям
траси (із-за “негативної” рефракції);

завмирання, обумовлені багатопроменевим поширенням радіохвиль,
розширенням і мерехтінням променю;

загасання, зумовлене коливанням кута виходу/приходу радіохвиль;

загасання, зумовлене опадами (гідрометеорними явищами), піщаними і
пиловими бурями.

Під час дослідження сценаріїв за участю РЕЗ сухопутної рухомої служби
під час прогнозування завад базові втрати поширення радіохвиль на трасах
прямої видимості переважно розраховуються за спрощеною формулою,
наведеною в Рекомендації ITU-R P.452, яка не враховує окремі з наведених
складових:

$$L_{LoS}(p) = L'_{free} + E_{sp}(p), \text{ дБ}, \quad (2)$$

де: L'_{free} — базові втрати поширення радіохвиль у вільному просторі з
урахуванням їх ослаблення в атмосферних газах;

$$L'_{free} = 60,2 + L_{free} + A_g, \text{ дБ}; \quad (3)$$

$E_{sp}(p)$ — поправка, яка враховує ефекти багатопроменевості, розширення і мерехтіння променю:

$$E_{sp}(p) = 2.6(1 - \exp(-0.1(d_{lt} + d_{lr}))) \cdot 10 \cdot \log(p/50), \text{ дБ}; \quad (4)$$

d_{lt} і d_{lr} — відстань від передавача і приймача до умовного обрію (якщо спостерігається рефракція радіохвиль);

$A_g = [\gamma_0 + \gamma_w(\rho)]d$ — втрати, спричинені загасанням радіохвиль в атмосферних газах, дБ;

γ_0 і $\gamma_w(\rho)$ — значення погонного ослаблення, дБ/км в сухому повітрі, і парах води, які визначаються відповідно до методики, викладеної в Рекомендації ITU-R P.676;

$$\rho = 7,5 + 2,5\omega, \text{ г/м}^3;$$

ω — частина траси, що проходить над водою;

d — відстань між передавачем і приймачем, км;

p — відсоток часу, протягом якого не перевищується значення базових втрат поширення радіохвиль.

У наведеній формулі не враховано додаткові втрати, спричинені розсіюванням радіохвиль у гідрометеорах, оскільки на частотах нижче за 3 ГГц за інтенсивності опадів 25 мм/год вони не перевищують значення 0,03 дБ/км.

1.3. Розрахунок базових втрат, які виникають внаслідок дифракції радіохвиль, проводиться відповідно до Рекомендацій ITU-R P.526-13 та ITU-R P.452-15. Дифракція радіохвиль проявляється за наявності топографічних перешкод у першій зоні Френеля.

Для розрахунку втрат, породжених дифракцією радіохвиль, форму топографічних перешкод необхідно ідеалізувати і віднести їх до клиноподібних (їхньою товщиною можна знехтувати) або об'ємних гладких об'єктів з відповідним радіусом кривизни біля верхівки.

Якщо на поверхні топографічної перешкоди є нерівності, висота яких не перевищує значень $\Delta h = 0,04\sqrt{R \times \lambda}$, (м), де R — радіус кривизни топографічної перешкоди, а λ — довжина хвилі, (м), топографічна перешкода вважається гладкою. У протилежному випадку — клиноподібною.

За розрахованим значенням параметра Δh визначається тип траси поширення радіохвиль:

траса над гладкою місцевістю;

траса з ізольованими топографічними перешкодами, де можна визначити домінуючі перешкоди;

траса над горбистою місцевістю, де жодна з перешкод не може бути класифікована як домінуюча.

1.3.1. Базові втрати поширення радіохвиль з дифракцією на одній ізольованій клиноподібній топографічній перешкоді розраховуються за формулою:

$$L_{\text{диф}\lambda} = J(v) = 6,9 + 20 \lg(\sqrt{(v - 0,1)^2 + 1} + v - 0,1), \quad (5)$$

де: $C(v)$ і $S(v)$ — дійсна і уявна частини комплексного інтеграла Френеля (див. Рекомендацію ITU-R P.526) відповідно;

v — узагальнений безрозмірний параметр, який характеризує геометрію траси поширення радіохвиль

Значення параметра v розраховуються за однією з нижченаведених формул залежно від наявності даних щодо характеристик траси:

$$v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}; \quad v = \theta \sqrt{\frac{2}{\lambda(1/d_1 + 1/d_2)}}; \quad v = \sqrt{\frac{2h\theta}{\lambda}}; \quad v = \sqrt{\frac{2d}{\lambda} \alpha_1 \alpha_2}, \quad (6)$$

де: h — висота верхівки топографічної перешкоди над прямою лінією, що з'єднує обидва кінці траси (якщо верхівка перешкоди знаходиться нижче цієї лінії, h вважається від'ємною величиною);

d_1 і d_2 — відстань від верхівки топографічної перешкоди до обох кінців траси, (км);

θ — кут дифракції (в радіанах);

α_1 і α_2 — кути між верхівкою топографічної перешкоди і одним з кінців траси, що визначають кут дифракції.

Розрахунок параметра v здійснюється відповідно до рисунка 1 цього додатка з урахуванням такого:

вважається, що дифракційні втрати на трасі поширення радіохвиль не перевищують 1 дБ, якщо значення параметра v менше мінус 0,78 (перешкода не потрапляє в ту частину першої зони Френеля, радіус якої становить $0,6 R_{F1}$, де R_{F1} — радіус першої зони Френеля, розрахований за формулою, наведеною в пункті 5 розділу V цієї Методики);

параметри h , d_1 , d_2 і λ повинні вимірюватися в однакових одиницях.

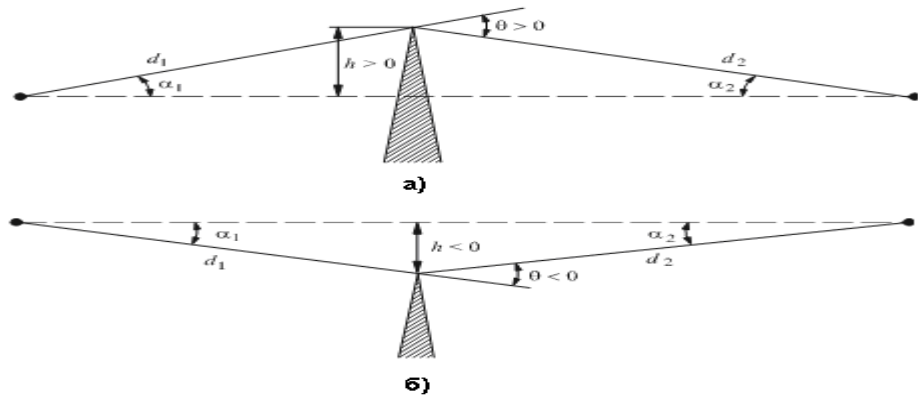


Рисунок 1. – Параметри, які характеризують геометричні властивості траси з дифракцією радіохвиль на одинокій клиноподібній топографічній перешкоді

Для визначення базових втрат поширення радіохвиль на трасі з дифракцією на одній клиноподібній перешкоді можна скористатися експериментально отриманим графіком, наведеним на рисунку 2 цього додатка.

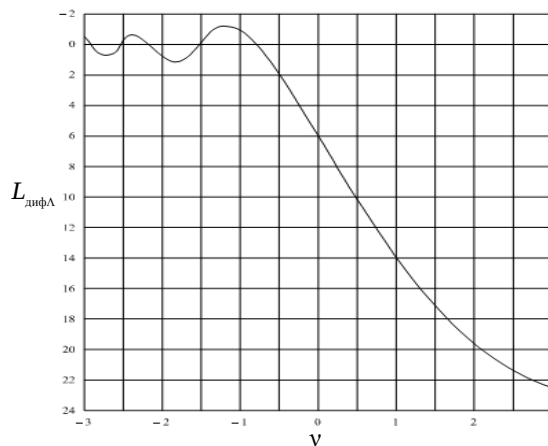


Рисунок 2. – Залежність дифракційних втрат на одинокій клиноподібній топографічній перешкоді від значення параметра v

1.3.2. Базові втрати поширення радіохвиль з дифракцією на одинокій заокругленій топографічній перешкоді розраховуються за формулою:

$$L_{\text{диф}R} = L_{\text{диф}\Lambda.e} + T(m,n), \text{ дБ}, \quad (7)$$

де: $L_{\text{диф}\Lambda.e}$ — втрати на еквівалентній клиноподібній перешкоді, верхівка якої збігається з точкою перетинання проекцій променів вздовж “лінії обрію” від передавача і приймача для розглядуваної гладкої перешкоди, дБ;

$T(m, n)$ — додаткові втрати, обумовлені кривизною топографічної перешкоди, дБ.

Значення $L_{\text{дифл.е}}$ розраховується за формулою, наведеною у підпункті 1.3.1 пункту 1.3 розділу 1 цього додатка, або визначається за графіком на рисунку 2 цього додатка.

Значення додаткових втрат $T(m, n)$ розраховується за формулами:

$$T(m, n) = 7,2\sqrt{m} - (2 - 12,5n)m + 3,6\sqrt[3]{m^2} - 0,8m^2, \text{дБ, якщо } mn \leq 4; \quad (8)$$

$$T(m, n) = -6 - 20 \lg(mn) + 7,2\sqrt{m} - (2 - 17n)m + 3,6\sqrt[3]{m^2} - 0,8m^2, \text{дБ, якщо } mn > 4, \quad (9)$$

$$\text{де: } m = \frac{R[(d_1 + d_2)/d_1 d_2]}{\sqrt[3]{\pi R/\lambda}}, \text{ а } n = \frac{h \sqrt[3]{(\pi R/\lambda)^2}}{R}. \quad (10)$$

У розрахунках параметра v для заокругленої топографічної перешкоди використовується формула і пояснення, наведені на рисунку 3 цього додатка:

$$v' = 0,0316 h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}}. \quad (11)$$

Радіус кривизни заокругленої топографічної перешкоди розраховується відповідно до Рекомендації ITU-RP.526.

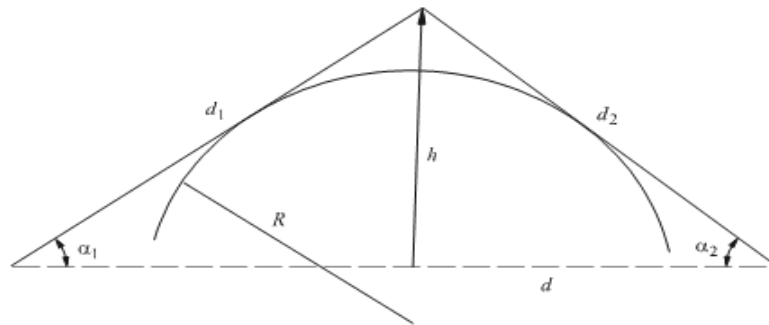


Рисунок 3. – Параметри, які характеризують геометрію траси з дифракцією радіохвиль на одинокій заокругленій топографічній перешкоді

1.3.3. Базові втрати поширення радіохвиль з дифракцією на двох одинакових клиноподібних топографічних перешкодах розраховуються за формулою:

$$L_{\text{дифл.л}} = L_{\text{диф.1}} + L_{\text{диф.2}} + L_{\text{cor}}, \text{дБ,} \quad (12)$$

де: $L_{\text{диф.1}}$ і $L_{\text{диф.2}}$ — втрати поширення радіохвиль на першій і другій дифракційних трасах, які розраховуються за формулою, наведеною у підпункті 1.3.1 пункту 1.3 розділу 1 цього додатка, або визначаються за графіком на рисунку 2 цього додатка;

L_{cor} — поправочний коефіцієнт, який враховує геометричне рознесення між верхівками топографічних перешкод.

Значення поправочного коефіцієнта L_{cor} розраховується за формулою:

$$L_{cor} = 10 \lg \left[\frac{(a+b)(b+c)}{b(a+b+c)} \right], \text{ дБ.} \quad (13)$$

У розрахунках використовуються пояснення, наведені на рисунку 4 цього додатка.

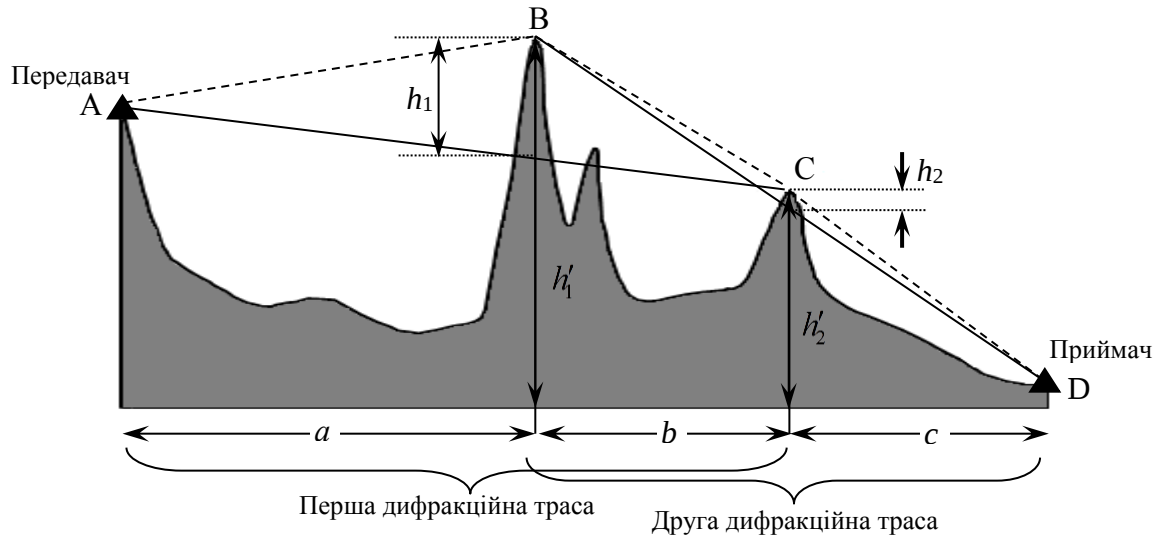


Рисунок 4. – Параметри, які характеризують геометричні властивості траси з дифракцією радіохвиль на двох клиноподібних топографічних перешкодах

Якщо одна з клиноподібних топографічних перешкод значно більше впливає на загальне значення втрат ніж інша, необхідно визначити основну і другорядну перешкоду.

Основну перешкоду визначає найбільше значення відношення h'_i / R_{F1} .

У цьому випадку перша дифракційна траса характеризується параметрами a , $b+c$ та h'_1 , друга — параметрами b , c та висотою h_2 (див. рисунок 4 цього додатка).

Для розрахунку базових втрат поширення радіохвиль з дифракцією на двох клиноподібних перешкодах, де одна з перешкод більше впливає на результуюче значення втрат ніж інша, використовується така формула:

$$L_{\text{диф}\Delta\Delta} = L_{\text{диф}.1} + L_{\text{диф}.2} - T_{cor}, \text{ дБ,} \quad (14)$$

де: T_{cor} — параметр, який враховує географічне рознесення верхівок топографічних перешкод та їхні висоти.

Значення параметра T_{cor} розраховується за формулою:

$$T_{cor} = \left[12 - 20 \lg \left(\frac{2}{1 - a/\pi} \right) \right] \left(\frac{q}{p} \right)^{2p}, \text{ дБ,} \quad (15)$$

$$\text{де: } p = \sqrt{\frac{2(a+b+c)}{\lambda(b+c)a}} \cdot h_1'; \quad q = \sqrt{\frac{2(a+b+c)}{\lambda(a+b)c}} \cdot h_2'. \quad (16)$$

Наведені формули можуть бути використані для розрахунку дифракційних втрат на двох закруглених топографічних перешкодах, якщо враховувати їхні геометричні характеристики.

1.3.4. Якщо топографічних перешкод на трасі поширення радіохвиль більше ніж дві, базові втрати поширення радіохвиль розраховуються за методом каскаду циліндрів або методом каскадних клиноподібних перешкод (інша назва — метод Deugout).

Якщо використовують метод каскаду циліндрів, закриту трасу між передавачем і приймачем необхідно розділити на декілька окремих ділянок (частин). Межами кожної такої ділянки є топографічні перешкоди, що закривають лінію прямої видимості між передавальною і приймальною антенами.

Траси поділяють на ділянки за методом “натягнутої струни”, відповідно до якого межі ділянок траси визначаються як точки дотику уявно натягнутої струни між передавачем і приймачем до поверхні Землі (враховуючи її кривизну). Для поділу траси на ділянки за методом “натягнутої струни” використовуються пояснення, наведені на рисунку 5 цього додатка.

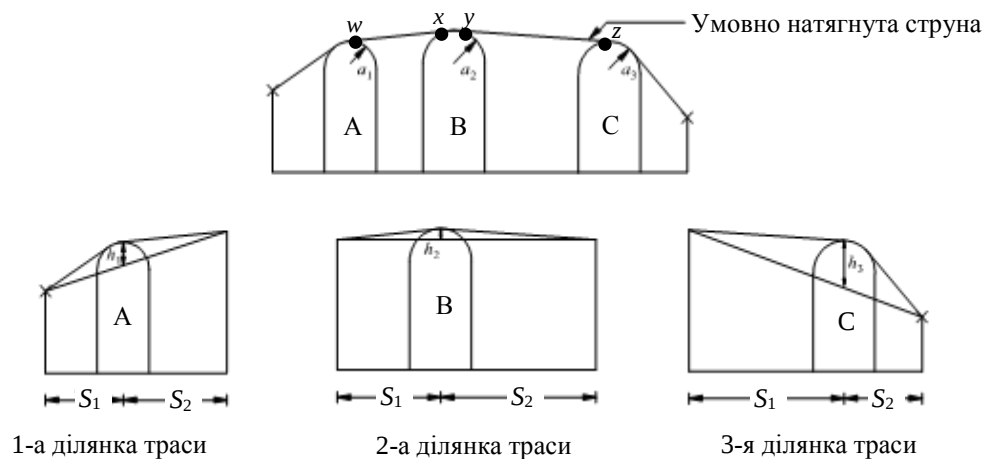


Рисунок 5. – Ілюстрація з поясненнями до “методу каскаду циліндрів” і методу натягнутої струни

У разі використання методу “каскаду циліндрів” базові втрати поширення радіохвиль з дифракцією на декількох топографічних перешкодах розраховуються за формулою:

$$L_{\text{диф}} = \sum_{i=1}^N L'_{\text{диф}_i} + L''(wx)_1 + \sum_{i=1}^N L''(yz)_i - 20 \lg C_N, \text{ дБ}, \quad (17)$$

де: $L'_{\text{диф}_i}$ — втрати за рахунок дифракції на i -му циліндрі;
 $L''(wx)_1$ та $L''(yz)_i$ — втрати при поширенні радіохвиль вздовж лінії прямої видимості на відповідних ділянках між перешкодами;
 w, x, y, z — точки на топографічних перешкодах, між якими існує пряма видимість (див. Рекомендацію ITU-R P.526);
 C_N — поправочний коефіцієнт, який враховує кількість перешкод на трасі і особливості їхнього географічного розташування.

Складові $L''(wx)_1$ та $L''(yz)_i$ у наведеній формулі розраховуються відповідно до Рекомендації ITU-R P.526.

Поправочний коефіцієнт C_N розраховується за формулою (див. рис.5):

$$C_N = \sqrt{P_a / P_b}, \quad (18)$$

$$\text{де: } P_a = (s_1)_1 \left((s_1)_1 + \sum_{i=1}^N [(s_2)_i] \right) \prod_{i=1}^N [(s_2)_i]; \quad (19)$$

$$P_b = (s_1)_1 (s_2)_N \prod_{i=1}^N [(s_1)_i + (s_2)_i]; \quad (20)$$

1,..., N — індекс, який визначає порядковий номер відповідного циліндру.

У разі використання методу “каскаду циліндрів” базові втрати поширення радіохвиль на трасі з декількома топографічними перешкодами розраховуються за такими етапами.

Етап 1. У межах профілю траси, виявляється перешкода, для якої значення узагальненого геометричного параметра v є найбільшим (така перешкода вважається основною).

Значення параметра v для відповідної перешкоди розраховується за формулою:

$$v = h \sqrt{\frac{2d_{ab}}{\lambda d_{an} d_{nb}}}, \quad (21)$$

де: λ — довжина хвилі;
 a — точка, яка визначає лівий край траси;
 b — точка, яка визначає правий край траси;
 n — точка, яка визначає розташування верхівки основної топографічної перешкоди на лінії між точками a і b ;
 h — висота від прямої лінії між точками a і b до верхівки топографічної перешкоди, для якої проводять розрахунки (визначається з урахуванням можливого виникнення явища рефракції радіохвиль):

$$h = h_n + \left[\frac{d_{an} d_{nb}}{2a_e} \right] - \left[\frac{h_a d_{nb} + h_b d_{an}}{d_{ab}} \right]; \quad (22)$$

h_a, h_b, h_n — вертикальні висоти над рівнем моря для точок a, b і n на профілі траси;

d_{ab}, d_{nb}, d_{an} — відстань по горизонталі між вищезазначеними точками;

a_e — еквівалентний радіус Землі, $a_e(p) = k(p) \times 6371$, км;

$k(p) = k_{50} + (5 - k_{50}) \cdot e^{-5,3\eta}$ — коефіцієнт збільшення ефективного радіуса Землі за рахунок рефракції для заданого відсотка часу;

$k_{50} = \frac{157}{157 - \Delta N}$ — середнє значення коефіцієнта збільшення ефективного радіуса Землі за рахунок рефракції;

ΔN — середній вертикальний градієнт індексу рефракції радіохвиль у межах нижнього шару атмосфери товщиною 1 км, який визначається за всесвітніми картами середніх річних і максимальних середньомісячних значень (N — од/км) (див. Рекомендацію ITU-R P. 452);

$$\eta = \frac{\lg(p/\beta_0)}{\lg(1 + 20/\beta_0)}; \quad (23)$$

P — значення відсотка часу, для якого проводять обчислення;

β_0 — відсоток часу, протягом якого вертикальний градієнт індексу рефракції в межах перших 100 м шарів атмосфери може перевищити значення $100 N$ — одиниць/км; значення показника β_0 розраховується відповідно до Рекомендацій ITU-R P.452 та ITU-R P.620.

Етап 2. Для визначеної основної перешкоди перевіряється виконання умови $v < 0.78$. Якщо ця умова не виконується, вважається, що дифракційні втрати на трасі не перевищують 1 дБ і ними можна знехтувати. Якщо умова виконується, дифракційні втрати на цій перешкоді позначаються L_Λ . Значення L_Λ розраховується за формулою, наведеною у підпункті 1.3.1 пункту 1.3 розділу 1 цього додатка, або визначається за графіком на рисунку 2 цього додатка.

Етап 3. Проводять повторний пошук топографічних перешкод, на яких може спостерігатися явище дифракції, для двох ділянок траси “передавач — основна перешкода” та “основна перешкода — приймач”. Для відібраних перешкод розраховуються значення параметра v . Найбільше значення параметра v визначає другорядну перешкоду на відповідній ділянці траси.

Етап 4. Для визначених другорядних перешкод, на яких може спостерігатися дифракція радіохвиль, перевіряється виконання умови $v > 0.78$, аналогічно етапу 2.

Додаткові втрати на другорядних перешкодах позначаються $L_{\text{прд} \rightarrow \Lambda}$ та $L_{\Lambda \rightarrow \text{прм}}$ відповідно. Показники $L_{\text{прд} \rightarrow \Lambda}$ і $L_{\Lambda \rightarrow \text{прм}}$ розраховуються за формулою, наведеною у підпункті 1.3.1 пункту 1.3. розділу 1 цього додатка, або визначаються за графіком на рисунку 1 цього додатка.

Етап 5. Для решти ділянок траси пошук перешкод, які можуть призвести до дифракції радіохвиль, здійснюються відповідно до етапів 3 і 4.

У розрахунках базових втрат поширення радіохвиль за методом “каскаду циліндрів” враховуються усі перешкоди, для яких значення параметра $v > -0.78$.

Етап 6. Розраховуються базові втрати поширення радіохвиль на всій ділянці траси. Для випадку трьох перешкод на трасі, на яких спостерігається дифракція радіохвиль, формула для розрахунку базових втрат має вигляд:

$$L_{\text{заг}} = L_{\Lambda} + T(L_{\text{прд} \rightarrow \Lambda} + L_{\Lambda \rightarrow \text{прм}} + C_{\text{cor}}), \text{ дБ}, \quad (24)$$

$$\text{де: } T = 1,0 - \exp\left[-\frac{L_{\Lambda}}{6,0}\right]; \quad (25)$$

C_{cor} — емпірична поправка, $C_{\text{cor}} = 10,0 - 0,04D$;

D — загальна довжина усієї траси (км).

Якщо перешкод на трасі більше ніж три, у вищенаведеній формулі враховуються втрати на кожній з таких перешкод.

1.3.5. При прогнозуванні завад розрахунок базових втрат, призведених дифракцією радіохвиль на трасах між джерелом і завади, використовується Рекомендація ITU-R P.452. У цьому випадку базові втрати поширення радіохвиль на трасі між джерелом і рецептором завади, які не перевищені протягом заданого відсотка часу p (%), розраховуються за формулою:

$$L_{\text{диф}}(p) = L'_{\text{free}} + L_d(p) + E_{sd}(p), \text{ дБ}, \quad (26)$$

де: $L'_{\text{free}} = 92,5 + 20 \lg f + 20 \lg d + A_g$, дБ — втрати поширення радіохвиль у вільному просторі з урахуванням їхнього послаблення в атмосферних газах;

$E_{sd}(p)$ — коефіцієнт, який розраховується за формулою, наведеною в пункті 1.2 розділу 1 цього додатка;

$L_d(p)$ — додаткові втрати, спричинені дифракцією радіохвиль.

Значення показника $L_d(p)$ розраховується за формулою:

$$L_d(p) = L_d(50\%) - F_i(p)[L_d(50\%) - L_d(\beta_0)], \text{ дБ, для } \beta_0 < p < 50 \%, \quad (27)$$

де: $L_d(50\%)$ — медіанне значення втрат внаслідок дифракції (відповідно до Рекомендації ITU-R P.452);

F_i — коефіцієнт інтерполяції, що базується на логнормальному розподілі дифракційних втрат в діапазоні $\beta_0 < p < 50 \%$,

$$F_i = \frac{\Phi(p/100)}{\Phi(\beta_0/100)}; \quad (28)$$

$\Phi(x)$ — інтеграл ймовірності нормального розподілу розраховується за формулою:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp(-t^2/2) dt. \quad (29)$$

1.4. Втрати (додаткові до базових втрат поширення радіохвиль), спричинені тропосферним розсіюванням радіохвиль, розраховуються відповідно до Рекомендації ITU-RP.452. Відповідно до зазначеної рекомендації втрати поширення радіохвиль, які виникають внаслідок їх тропосферного розсіюванням $L_{\text{троп}}$ (значення яких не перевищені протягом будь-якого відсотка часу p , меншого за 50 %), розраховуються за формулою:

$$L_{\text{доп}}(p) = 190 + L_f + 20 \lg d + 0,573 \cdot \theta - 0,15 N_0 + L_c + A_g - 10,1 [-\lg(p/50)]^{0,7} \text{ дБ}, \quad (30)$$

де: L_f — втрати, що залежать від частоти,

$$L_f = 25 \lg f - 2,5 [\lg(f/2)]^2, \text{ дБ}; \quad (31)$$

L_c — втрати, які обумовлені взаємозв'язком апертури антен з навколишнім простором, $L_c = 0,051 \cdot e^{0,055 G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}}}$, дБ;

N_0 — заломлююча здатність поверхні на рівні моря всередині траси (табличне значення);

$A_g = [\gamma_0 + \gamma_w(\rho)] \cdot d$ — поглинання в атмосферних газах з урахуванням погонного ослаблення в парах води $\gamma_w(\rho)$ (зазвичай щільність парів води по всій довжині траси дорівнює 3 г/м³);

θ — кутова відстань, яка враховує застосування моделі екранування місцевістю [див. Рекомендації ITU-R P.452];

ρ — питома частка ділянки траси, що проходить над водою.

1.5. Додаткові втрати (до базових втрат поширення радіохвиль), які виникають внаслідок прояву аномальних механізмів поширення радіохвиль, прогнозуються відповідно до Рекомендації ITU-R P.452.

Базові втрати, які виникають внаслідок аномальних умов поширення радіохвиль (хвилеводне поширення і відбиття від атмосферних шарів), розраховуються за формулою:

$$L_{\text{ан}}(p) = A_f + A_d(p) + A_g \text{ (дБ)}, \quad (32)$$

де: A_f — сума фіксованих втрат, які виникають внаслідок наявності аномальних структур поширення в атмосфері:

$$A_f = 102,45 + 20 \lg f + 20 \lg(d_{\text{lt}} + d_{\text{lr}}) + A_{\text{st}} + A_{\text{sr}} + A_{\text{ct}} + A_{\text{cr}}, \text{ дБ}; \quad (33)$$

$A_{\text{st}}, A_{\text{sr}}$ — дифракційні втрати за рахунок екранування місцевістю для передавача і приймача відповідно, дБ.

Методика розрахунку цих складових визначена Рекомендацією ITU-R P.452;

$A_{\text{ct}}, A_{\text{cr}}$ — поправки, які враховують зв'язок через хвилеводи;

$$A_{ct,cr} = \begin{cases} -3e^{-0,25d_{ct,cr}^2} [1 + \operatorname{tg}(0,07(50 - h_{ts,rs}))] \text{ дБ, якщо } \omega \geq 0,75; \\ 0 \text{ дБ, для решти випадків;} \end{cases} \quad (34)$$

$d_{lt}, d_{lr}, h_{ts}, h_{rs}$ — параметри траси поширення радіохвиль;

a_e — ефективний радіус Землі;

$A_d(p)$ — втрати, які виникають в аномальних умовах поширення і залежать від p (%) і кутової відстані:

$$A_d(p) = \gamma_d \cdot \theta' + A(p); \quad (35)$$

$\gamma_d = 5 \cdot 10^{-5} a_e f^{1/3}$ — погонне ослаблення, дБ/мрад;

$A(p)$ — змінюваність відсотка часу (кумулятивний розподіл),

$$A(p) = -12 + (1,2 + 3,7 \cdot 10^{-3} d) \lg\left(\frac{p}{\beta_0}\right) + 12\left(\frac{p}{\beta_0}\right)^\Gamma, \quad (36)$$

Γ — параметр, який розраховується відповідно до Рекомендації ITU-R P.452.

$$A_g \text{ — поглинання в атмосферних газах, } A_g = [\gamma_0 + \gamma_w(p)] \cdot d \quad (37)$$

1.6. Прогнозування базових втрат, які виникають у разі поширення радіохвиль всередині споруд (будівель, приміщень) між радіозасобами, що працюють на частотах вище за 900 МГц, виконуються відповідно до Рекомендації ITU-R P.1238.

Базові втрати поширення радіохвиль всередині споруд, які не залежать від характеристик місця розташування РЕЗ, розраховуються за формулою:

$$L_{indoor} = 20 \lg f + B \lg d + L_{floor}(n) - 28, \text{ дБ,} \quad (38)$$

де: B — дистанційний коефіцієнт втрати потужності;

f — частота, МГц;

d — відстань між базовою і абонентською станціями ($d \geq 1$ м);

$L_{floor}(n)$ — коефіцієнт втрат за рахунок проходження сигналу через підлогу, дБ;

n — кількість поверхів між базовою і абонентською станціями ($n \geq 1$).

У розрахунках використовуються значення коефіцієнтів B і $L_{floor}(n)$, що наведені в таблицях 1 та 2 цього додатка відповідно.

Таблиця 1

Типові значення коефіцієнта втрат потужності (B) для різних типів споруд

Частота	Житлові приміщення	Офіси	Промислові споруди
900 МГц	–	33	20
(1,2 — 1,3) ГГц	–	32	22
(1,8 — 2) ГГц	28	30	22
2,4 ГГц	28	30	
3,5 ГГц		27	
4 ГГц	-	28	22
5,2 ГГц	30 (в кімнаті) 28 (в будівлі)	31	-
5,8 ГГц	-	22	
60 ГГц	-	22	17
70 ГГц	-	22	-

Таблиця 2

Типові значення коефіцієнта втрат за рахунок проходження сигналу через підлогу ($L_{\text{floor}}(n)$) для різних типів споруд

Частота	Житлові приміщення	Офіси	Промислові споруди
900 МГц	–	9 (1 поверх) 19 (2 поверх) 24 (3 поверх)	–
1,8–2 ГГц	$4n$	$15+4(n-1)$	$6+3(n-1)$
3,5 ГГц		18 (1 поверх) 26 (2 поверх)	
5,2 ГГц	13 (в кімнаті) 7 (в будівлі)	16 (1 поверх)	-
5,8 ГГц		22 (1 поверх) 28 (2 поверх)	

1.7. Прогнозування базових втрат поширення радіохвиль на малих відстанях і в локальних зонах між РЕЗ, які працюють на частотах вище за 300 МГц, здійснюється відповідно до Рекомендації ITU-R P.1411.

Для проведення розрахунків необхідно визначити тип траси поширення радіохвиль відповідно до нижченаведеної класифікації:

траса, яка пролягає вуличними каньйонами за наявності прямої видимості між кінцевими станціями;

траса, яка пролягає вуличними каньйонами за відсутності прямої видимості між кінцевими станціями;

траса, яка пролягає над дахами споруд за відсутності прямої видимості між кінцевими станціями.

1.7.1. Модель для розрахунку базових втрат, які виникають у разі поширення радіохвиль вуличними каньйонами в діапазоні ультрависоких частот (УВЧ), за наявності прямої видимості між кінцевими станціями представляються у вигляді кусково-лінійної апроксимації з двома нахилами і однією точкою переривання:

$$L_{LoS,l} = L_{bp} + \begin{cases} 20 \lg \left(\frac{d}{R_{bp}} \right), & \text{для } d \leq R_{bp}; \\ 40 \lg \left(\frac{d}{R_{bp}} \right), & \text{для } d > R_{bp}, \end{cases} \quad \text{— апроксимація нижньої межі; (39)}$$

$$L_{LoS,u} = L_{bp} + 20 + \begin{cases} 25 \lg \left(\frac{d}{R_{bp}} \right), & \text{для } d \leq R_{bp}; \\ 40 \lg \left(\frac{d}{R_{bp}} \right), & \text{для } d > R_{bp}, \end{cases} \quad \text{— апроксимація верхньої межі; (40)}$$

$$L_{bp} = \left| 20 \lg \left(\frac{\lambda^2}{8\pi h_b h_m} \right) \right| \text{— значення базових втрат в точці переривання, (41)}$$

де: R_{bp} — відстань до точки переривання в метрах, $R_{bp} \approx \frac{4h_b h_m}{\lambda}$;

h_b — висота антени базової станції;

h_m — висота антени рухомої станції.

У діапазоні надвисоких частот (НВЧ) за довжини траси приблизно до 1 км дорожній рух буде впливати на значення R_{bp} . У цьому випадку значення R_{bp} розраховується за формулою:

$$R_{bp} = \frac{4(h_1 - h_s)(h_2 - h_s)}{\lambda}, \quad (42)$$

де: h_s — ефективна висота дороги, м.

Типові значення параметра для інтенсивного і неінтенсивного трафіку наведено в Рекомендації ITU-R P.1411.

1.7.2. Базові втрати поширення радіохвиль у вуличних каньйонах для смуги частот (800 — 2 000) МГц за відсутності прямої видимості між кінцевими станціями (поширення відбувається за рахунок дифракції радіохвиль) розраховуються за формулою:

$$L_{NLoS,l} = -10 \lg(10^{-L_r/10} + 10^{-L_d/10}), \text{ дБ,} \quad (43)$$

$$\text{де: } L_r = 20 \lg(x_1 + x_2) + x_1 x_2 \frac{f(\alpha)}{w_1 w_2} + 20 \lg \left(\frac{4\pi}{\lambda} \right) \quad (44)$$

— втрати, які виникають через відбиття променів від об'єктів місцевості на трасі, дБ;

$$f(\alpha) = \frac{3,86}{\alpha^{3,5}}, \text{ де } 0,6 < \alpha [\text{рад}] < \pi; \quad (45)$$

$$L_d = 10 \lg[x_1 x_2 (x_1 + x_2)] + 2D_a - 0,1 \left(90 - \alpha \frac{180}{\pi} \right) + 20 \lg \left(\frac{4\pi}{\lambda} \right) \quad (46)$$

— дифракційні втрати на трасі поширення радіохвиль, дБ;

$$D_a = \left(\frac{40}{2\pi} \right) \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{x_2}{w_2} \right) + \operatorname{arctg} \left(\frac{x_1}{w_1} \right) - \frac{\pi}{2} \right]; \quad (47)$$

λ — довжина хвилі, м;

w_1 і w_2 — ширина вулиці у місці розташування базової і рухомої станції відповідно, м;

x_1 і x_2 — відстань від базової і рухомої станції до перехрестя відповідно, м;

α — кут перехрестя, град.

У розрахунках базових втрат поширення радіохвиль у вуличних каньйонах для смуги частот (2 — 16) Гц за відсутності прямої видимості між кінцевими станціями враховуються так звані втрати в кутах (L_{corner}).

У цьому випадку базові втрати L_{NLoS} розраховуються за формулою:

$$L_{NLoS2} = L_{NLoS} + L_c + L_{att}, \quad (48)$$

де:

$$L_c = \begin{cases} \frac{L_{corner}}{10 \lg(1 + d_{corner})} \lg(x_2 - w_2/2), & \text{для } w_1/2 + 1 \leq x_2 < 2 + 1 + d_{corner}; \\ L_{corner}, & \text{для } x_2 > w_1/2 + 1 + d_{corner}; \end{cases} \quad (49)$$

$$L_{att} = \begin{cases} 10 \beta \lg \lg \left(\frac{x_1 + x_2}{x_1 + w_1/2 + d_{corner}} \right), & \text{для } x_2 \leq w_1/2 + 1 + d_{corner}; \\ 0, & \text{для } x_2 > w_1/2 + 1 + d_{corner}. \end{cases} \quad (50)$$

1.7.3. Базові втрати поширення радіохвиль на трасах, які пролягають над дахами споруд і будівель у міській зоні, за відсутності прямої видимості між електричними центрами приймальної і передавальної антен розраховуються за формулою:

$$L_{NLoS,d} = \begin{cases} L_{free} + L_{rts} + L_{msd}, & \text{якщо } L_{rts} + L_{msd} > 0; \\ L_{free}, & \text{якщо } L_{rts} + L_{msd} \leq 0, \end{cases} \quad (51)$$

де: L_{free} — втрати поширення радіохвиль у вільному просторі, дБ;

L_{rts} — дифракційні втрати на шляху від даху споруди до вулиці,

$$L_{rts} = -8,2 - 10 \lg_{10}(w) + 10 \lg_{10}(f) + 20 \lg_{10}(\Delta h_m) + L_{ori}, \text{ дБ}; \quad (52)$$

$$\Delta h_m = h_r - h_m; \quad (53)$$

h_r — середня висота споруд, м;

f — частота, МГц;

w — ширина вулиці у місці розташування рухомої станції, м;

h_b — висота антени базової станції;

h_m — висота антени рухомої станції;

L_{ori} — поправочний коефіцієнт, який враховує орієнтацію вулиць, відносно напрямку поширення радіохвиль

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0,354\varphi & \text{дБ, якщо } 0^\circ \leq \varphi < 35^\circ; \\ 2,5 + 0,075(\varphi - 35) & \text{дБ, якщо } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ; \\ 4,0 - 0,114(\varphi - 55) & \text{дБ, якщо } 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ; \end{cases} \quad (54)$$

φ — орієнтація вулиці, де розміщена рухома станція, відносно прямої траси між базовою станцією і рухомою станцією, град.;

L_{msd} — втрати, які виникають внаслідок дифракції на великій кількості екранів (при проходженні рядів споруд або будівель)

$$L_{msd} = \begin{cases} -tg\left(\frac{\lg d - \lg d_{bp}}{\chi}\right) \times (L1_{msd}(d) - L_{mid}) + L_{mid}, & \text{для } l > d_s \text{ и } dh_{bp} > 0; \\ tg\left(\frac{\lg d - \lg d_{bp}}{\chi}\right) \times (L2_{msd}(d) - L_{mid}) + L_{mid}, & \text{для } l \leq d_s \text{ и } dh_{bp} > 0; \\ L2_{msd}(d), & \text{для } dh_{bp} = 0; \\ L1_{msd}(d) - tg\left(\frac{\lg d - \lg d_{bp}}{\xi}\right) \times (L_{upp} - L_{mid}) - L_{upp} + L_{mid}, & \text{для } l > d_s \text{ и } dh_{bp} < 0; \\ L2_{msd}(d) + tg\left(\frac{\lg d - \lg d_{bp}}{\xi}\right) \times (L_{mid} - L_{low}) + L_{mid} - L_{low}, & \text{для } l \leq d_s \text{ и } dh_{bp} < 0. \end{cases}, \text{ дБ}; \quad (55)$$

де:

$$dh_{bp} = L_{upp} - L_{low}; \quad (56)$$

$$\xi = (L_{upp} - L_{low}) \times \mathcal{G}; \quad (57)$$

$$L_{mid} = \frac{(L_{upp} + L_{low})}{2}; \quad (58)$$

$$L_{upp} = L1_{msd}(d_{bp}); \quad (59)$$

$$L_{low} = L2_{msd}(d_{bp}); \quad (60)$$

$$d_{bp} = |\Delta h_1| \sqrt{\frac{l}{\lambda}}; \quad (61)$$

$$\mathcal{G} = 0,0417; \quad (62)$$

$$\chi = 0,12. \quad (63)$$

Наведена формула для розрахунку $L_{NLoS,d}$ може бути використана лише за умови, що коротка траса пролягає над дахами будівель приблизно однакової висоти, а різниця висот дахів споруд не перевищує радіуса першої зони Френеля. У протилежному випадку використовуються формули для клиноподібних топографічних перешкод, які наведені у підпунктах 1.3.1, 1.3.3 та 1.3.4 пункту 1.3 розділу 1 цього додатка.

Окремі втрати $L1_{msd}(d)$ та $L2_{msd}(d)$ відповідно до описаної моделі визначаються за такими формулами:

$$L1_{msd}(d) = L_{bsh} + k_a + k_d \lg(d/1000) + k_f \lg(f) - 9 \lg(b); \quad (64)$$

$$L_{2_{msd}}(d) = -10\lg(Q_m^2); \quad (65)$$

$$\text{де: } L_{bsh} = \begin{cases} -18 \lg(1 + \Delta h_b), & \text{якщо } h_b > h_r, \\ 0, & \text{якщо } h_b \leq h_r; \end{cases} \quad (66)$$

Коефіцієнти k_a , k_f , k_d і змінна Q_m визначаються відповідно до формул, наведених у підпункті 4.2.1 Рекомендації ITU-R P.1411.

2. Статистичні моделі для прогнозування базових втрат поширення радіохвиль у різних типах середовищ

2.1. Якщо неоднорідні характеристики реального середовища не дозволяють однозначно визначити відповідний механізм, за допомогою якого можна здійснити прогнозування базових втрат поширення радіохвиль у відповідному сценарії, або умови реального середовища значною мірою відрізняються від умов, для яких визначені наведені формули (моделі) обчислення базових втрат, для прогнозування втрат поширення радіохвиль використовуються моделі, які визначені на основі статистичних даних результатів експериментальних досліджень.

2.2. Перелік типових статистичних моделей, які доцільно використовувати у розрахунках базових втрат поширення радіохвиль у сценаріях за участю РЕЗ сухопутної рухомої служби, а також умови їх застосування наведено в таблиці 3 цього додатка.

Таблиця 3

Статистичні моделі які використовуються у розрахунках базових втрат поширення радіохвиль в різних типах середовищ в сценаріях за участю РЕЗ сухопутної рухомої служби

Модель поширення радіохвиль (тип середовища)	Умови застосування моделі і типові значення вихідних даних	Визначення параметрів моделі
1	2	3
Модель Хати (для міста і приміських зон) $L_{\text{місто}} = 69,55 + 26,16 \lg f - 13,82 \lg h_1 + (44,9 - 6,55 \lg h_1) \lg d + a(h_2) + a(v_r) + a(b) + a(h_1; f);$ $L_{\text{передмістя}} = L_{\text{місто}} - 2 \lg (f/28)^2 - 5,4;$ $L_{\text{передмістя}} = L_{\text{місто}} - 4,78 (\lg f)^2 + 18,33 \lg f - 35,94$ (напівзакрита місцевість); $L_{\text{село}} = L_{\text{місто}} - 4,78 (\lg f)^2 + 18,33 \lg f - 40,94$ (відкрита місцевість).	смуга частот (100 — 3000) МГц; $h_1 = (30 — 200)$ м; $h_2 = (1 — 10)$ м; $d = (1 — 1000)$ км; $v_r(\text{сільська місцевість}) = 0$; $v_r(\text{передмістя}) = 0,5$; $v_r(\text{місто}) = 1$; $b = (0 — 50)$ %;	f – робоча частота; h_1 – висота передавальної (базової) антени; h_2 – висота приймальної (рухомої) антени; d – довжина траси; b – щільність міської забудови; d_0 – відстань прямої видимості; $a(h_2)$, $a(v_r)$, $a(b)$, $a(h_1; f)$ – поправочні коефіцієнти. Розрахунок параметрів моделі: $a(h_2) = (1,1 \lg f - 0,7) h_2 - 1,56 \lg f + 0,8$ – для малих міст; $a(h_2) = 8,29 (\lg 1,54 h_2)^2 - 1,1$ – для великих міст, якщо $f < 200$ МГц; $a(h_2) = 3,2 (\lg 1,75 h_2)^2 - 4,97$ – для великих міст, якщо $f > 200$ МГц; $a(v_r) = (1 - v_r) [(1 - 2 v_r) \gamma_1 + 4 v_r \gamma_2]$; $\gamma_1 = 4,78 (\lg f)^2 - 18,33 \lg f + 40,94$; $\gamma_2 = 2 [\lg (f/28)^2 + 5,4]$; $a(b) = 25 \lg b - 30$; $a(h_1; f)$ – поправка, яка враховує сферичність Землі, якщо $0,2 r_0 < d \leq 0,8 r_0$; $d_0 \cong 3,57 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$.

Продовження таблиці 3

1	2	3
Модель Уолфіша-Ікегамі (для систем GSM, які розгортаються в місті або приміській зоні) $L_{\text{заг}} = L_{\text{вп}} + L_{\text{відб}} + L_{\text{диф}} ;$ $L_{\text{вп}} = 32,5 + 20 \lg(d; f) ;$ $L_{\text{відб}} = -16,9 - 10 \lg(w) + 10 \lg(f; \Delta h_2) + L_{\text{орієнт}} ;$ $L_{\text{диф}} = L_c + L_a + L_d + k_d \lg d + k_f \lg f - 9 \lg r .$	смуга частот (800 — 2 000) МГц; $h_1 = (4 — 50)$ м; $h_2 = (1 — 3)$ м; $d = (0,02 — 100)$ км; $h_0 \leq 80$ м; $r = (20 — 50)$ м; $\varphi = (0 — 90)^\circ$; $w = (10 — 15)$ м.	h_0 – висота споруд, найближчих до передавальної антени; d – довжина траси; r – відстань між спорудами; φ – орієнтація вулиці відносно напрямку приходу сигналу; W – ширина вулиці; $h_{\text{б.ср}}$ – середня висота споруд; Розрахунок параметрів моделі: $L_{\text{орієнт}} = \begin{cases} -10 + 0,354\varphi, & \text{для } 0 < \varphi < 35^\circ; \\ 2,5 + 0,075(\varphi - 35^\circ), & \text{для } 35^\circ < \varphi < 55^\circ; \\ 4 + 0,114(\varphi - 55^\circ), & \text{для } 55^\circ < \varphi < 95^\circ; \end{cases}$ $L_c = \begin{cases} 0, & \text{для } h_1 < h_{\text{б.ср}}; \\ 18 \lg(1 + (h_1 - h_{\text{б.ср}})), & \text{для } h_1 > h_{\text{б.ср}}; \end{cases}$ $L_a = \begin{cases} 54, & \text{для } h_1 > h_{\text{б.ср}}; \\ 54 - 0,8(h_1 - h_{\text{б.ср}}), & \text{для } d > 0,5 \text{ км і } h_1 \leq h_{\text{б.ср}}; \\ 54 - 0,4(h_1 - h_{\text{б.ср}}), & \text{для } d \leq 0,5 \text{ км і } h_1 \leq h_{\text{б.ср}}; \end{cases}$ $k_d = \begin{cases} 18, & \text{для } h_1 > h_{\text{б.ср}}; \\ 18 - 15(h_1 - h_{\text{б.ср}}), & \text{для } h_1 \leq h_{\text{б.ср}}; \end{cases}$ $k_f = \begin{cases} -4 + 0,7\left(\frac{f}{925} - 1\right), & \text{для міст з середнім розміром}; \\ 18 - 15 \frac{h_1 - h_{\text{б.ср}}}{h_{\text{б.ср}}}, & \text{для мегаполіса}. \end{cases}$

Продовження таблиці 3

1	2	3
Модель Парсона (для міської зони з визначеним ступенем урбанізації) $L_{\text{заг}} = 20 \lg(0,7h_1) + 81 \lg h_2 - 0,025 f - 26 \lg(0,025 f) +$ $+ 86 \lg \left(\frac{f+100}{156} \right) - \left(40 + 14,5 \lg \left(\frac{f+100}{156} \right) \right) \lg d -$ $- 0,265b + 0,37(h_1 - h_2) - 0,87v + 5,5$	смуга частот (150 — 1 000) МГц; $h_1 = (30 — 300)$ м; $h_2 \leq 3$ м; $d \leq 10$ км; $v = (0 — 100)$ %.	h_0 – висота споруд, найближчих до передавальної антени; d – довжина траси; v – ступінь урбанізації середовища.
Модель Окамури-Хати (для міста і приміських зон) $E = 69,82 - 6,16 \lg f + 13,82 \lg h_1 + a(h_2) -$ $- (44,9 - 6,55 \lg h_1)(\lg d)^b$	смуга частот (100 — 2 000) МГц; $h_1 = (30 — 200)$ м; $h_2 = (1 — 10)$ м; $d \leq 30$ км; відносно пласка місцевість; $b = 1$, якщо $d < 20$ км; $b = b_{\text{кор}}$, якщо $20 < d < 30$ км.	E – напруженість поля в точці приймання, дБмкВ/м; f – робоча частота; h_1 – висота передавальної (базової) антени; h_2 – висота приймальної (рухомої) антени; d – довжина траси; $a(h_2)$ – поправочний коефіцієнт. Розрахунок параметрів моделі: $a(h_2) = (1,1 \lg f - 0,7)h_2 - (1,56 \lg f - 0,8)$; $b_{\text{кор}} = 1 + (0,14 + 0,000187 f + 0,00107 h_1')(\lg(0,05d))^{0,8}$; $h_1' = h_1 \sqrt{1 + 0,000007 h_1^2}$.
Модель COST 231 (модифікована модель Хата для 2 ГГц) $L_{\text{місто}} = 46,3 + 33,9 \lg f - 13,82 \lg h_1 - a(h_2) +$ $+ (44,9 - 6,55 \lg h_1) \lg d + C_m$	смуга частот (1 500 — 2 000) МГц; $h_1 = (30 — 200)$ м; $h_2 = (1 — 10)$ м; $d = (1 — 20)$ км; $C_m = 0$ дБ – для міст середніх розмірів; $C_m = 3$ дБ – для міст зі щільною забудовою.	d – довжина траси; C_m – додаткові втрати. Розрахунок параметрів моделі: $a(h_2) = (1,1 \lg f - 0,7)h_2 - (1,56 \lg f - 0,8)$.

Продовження таблиці 3

1	2	3
Модель розрахунку базових втрат у разі поширення радіохвиль із зовнішнього середовища в будівлі $L(R) = L_{fs} + L_{rts} + L_{msd}$	$\Delta h_2 = 10,5$ м (місто і передмістя); $x = 15$ м (місто і передмістя); $l = 80$ м.	λ – довжина хвилі; d – довжина траси; L_{fs} – втрати у вільному просторі; L_{rts} – дифракційні втрати (від дахів споруд); L_{msd} – дифракційні втрати (від топографічних перешкод); Δh_2 – різниця між висотою забудов і h_2, x – віддалення приймальної станції від граней дифракції; l – середня відстань між рядами будівель. Розрахунок параметрів моделі: $L_{fs} = -10 \lg \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2;$ $L_{rts} = -10 \lg \left(\frac{\lambda}{2\pi^2 d} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi + \theta} \right)^2 \right);$ $L_{msd} = -10 \lg Q_m^2; \theta = \text{tg}^{-1} \left(\frac{ \Delta h_2 }{x} \right); r = \sqrt{(\Delta h_2)^2 + x^2};$ $Q_m = l / d.$

3. Розрахунки базових втрат за експериментальними графіками, наведеними в Рекомендації ITU-R P.1546

3.1. Експериментальні графіки в Рекомендації ITU-R P.1546 отримані шляхом статистичного аналізу експериментальних даних і є графіками залежності медіанного значення напруженості поля на заданій відстані від передавача, яка перевищена в 50 % місць для ефективної випромінюваної потужності (е.в.п.) передавача 1 кВт і визначених номінальних значень робочих параметрів РЕЗ.

3.2. Прогнозування базових втрат поширення радіохвиль за Рекомендацією ITU-R P.1546, здійснюється шляхом перерахунку розрахованого значення напруженості поля, отриманого за допомогою наведених графіків для заданих вихідних значень робочих параметрів, за формулою:

$$L_b = 139 - E + 20 \lg f, \text{ дБ}, \quad (67)$$

де: L_b — базові втрати поширення радіохвиль;

E — прогнозоване значення напруженості поля для заданих вихідних параметрів;

f — робоча частота РЕЗ, МГц.

3.3. Для проведення розрахунків за Рекомендацією ITU-R P.1546, визначаються вихідні значення таких робочих параметрів:

частота f , МГц;

відсоток часу p (%);

відстань між передавачем і приймачем d , км;

висота передавальної і приймальної антен відповідно h_1 та h_2 , м.

3.4. Якщо значення робочого параметра не збігається з номінальними, для яких побудовані графіки, розрахунок значення напруженості поля здійснюється шляхом лінійної інтерполяції або екстраполяції значень, отриманих для номінальних значень робочих параметрів.

3.5. У розрахунках враховуються такі умови:

криві для сухопутних трас побудовані на основі даних, отриманих в умовах помірного клімату;

криві для морських трас побудовані на основі даних, отриманих у районах Середземного та Північного морів;

умови поширення радіохвиль в окремих районах світу можуть суттєво відрізнятися;

точний прогноз для різних районів можна отримати, враховуючи відповідні поправки;

в автоматизованих розрахунках необхідно використовувати таблиці напруженості поля, які розробляються у Бюро радіозв'язку ІТУ-Р.

3.6. Експериментальні графіки, наведені в Рекомендації ІТУ-РР. 1546, побудовані для таких номінальних значень робочих параметрів:

- 1) номінальні значення частоти: 100 МГц, 600 МГц та 2 000 МГц;
- 2) номінальні значення відсотка часу: 50 %, 10 % та 1 %;
- 3) номінальні значення висоти передавальної антени (h_1): 10, 20, 37.5, 75, 150, 300, 600 та 1 200 м;

4) номінальне значення висоти приймальної антени (h_2) обирається рівним репрезентативній висоті наземного покрову навколо місця розташування антени (не менше ніж 10 м); для сухопутних трас і різних категорій місцевості репрезентативна висота наземного покрову ($h_{\text{реп}}$) має такі значення:

- 20 м — для району міста;
 - 30 м — для району міста зі щільною забудовою;
 - 10 м — для передмістя;
 - 10 м — для морських трас;
- 4) номінальні значення d наведено в таблиці 4 цього додатка.

Таблиця 4

Номінальні значення відстані поширення радіохвиль (км), які використані під час побудови експериментальних графіків

1	10	19	60	110	200	425	650
2	11	20	65	120	225	450	675
3	12	25	70	130	250	475	700
4	13	30	75	140	275	500	725
5	14	35	80	150	300	525	750
6	15	40	85	160	325	550	775
7	16	45	90	170	350	575	800
8	17	50	95	180	375	600	900
9	18	55	100	190	400	625	1 000

3.7. Прогнозування базових втрат поширення радіохвиль за експериментальними графіками, наведеними в Рекомендації ІТУ-Р Р.1546, відбувається відповідно до нижчевикладених етапів.

Серед визначених етапів є такі, які виконуються лише за відповідності визначених умов етапу, умовам досліджуваного сценарію (типу траси, вказаним значенням робочих параметрів, характеристикам середовища поширення радіохвиль).

Етап 1. Визначаються тип траси поширення радіохвиль (сухопутна, морська, змішана). Для змішаних трас визначаються типи субтрас, які вважаються першого і другого типу поширення.

Етап 2. Визначаються вихідні значення робочих параметрів, для яких необхідно здійснити прогнозування напруженості поля. Перелік вихідних значень робочих параметрів визначений у пункті 3.2 розділу 3 цього додатка.

Етап 3. Якщо вихідне значення параметра p збігається з одним із номінальних значень, визначених у пункті 3.6 розділу 3 цього додатка, він вважається нижнім номінальним значенням.

Якщо вихідне значення параметра p не збігається з номінальними значеннями, визначаються пари номінальних значень p_{inf} і p_{sup} , з урахуванням наступного.

За виконання умови $1\% < p < 10\%$ нижнє (p_{inf}) і верхнє (p_{sup}) номінальні значення p обираються рівними 1% і 10% відповідно. Якщо значення параметра p знаходиться в межах від 10% до 50% , нижнє номінальне значення p_{inf} відповідно обираються рівним 10% , а верхнє p_{sup} — 50% . При цьому результуюче значення напруженості поля для вихідного значення параметра p розраховується шляхом лінійної інтерполяції (екстраполяції) відповідно до етапу 10.

Коли вихідне значення p менше ніж 1% або більше ніж 50% , у розрахунках результуючого значення напруженості поля процедуру інтерполяції необхідно замінити екстраполяцією.

Етап 4. Якщо вихідне значення параметра f збігається з одним із номінальних значень, визначених у пункті 3.6 розділу 3 цього додатка, він вважається нижнім номінальним значенням.

Якщо вихідне значення параметра f не збігається з номінальними значеннями, визначаються пари номінальних значень f_{inf} і f_{sup} аналогічно етапу 3. При цьому результуюче значення напруженості поля для вихідного значення параметра f розраховується шляхом лінійної інтерполяції (екстраполяції) відповідно до етапу 9.

Етап 5. Якщо вихідне значення параметра d збігається з одним із номінальних значень, визначених у таблиці 4 цього додатка, він вважається нижнім номінальним значенням.

Якщо вихідне значення параметра d не збігається з номінальними значеннями, визначаються пари номінальних значень d_{inf} і d_{sup} аналогічно етапів 3 і 4. При цьому результуюче значення напруженості поля для вихідного значення параметра d розраховується шляхом лінійної інтерполяції (екстраполяції) відповідно до етапу 8.5.

Етап 6. Для визначеного типу траси поширення радіохвиль або кожної із субтрас на змішаній трасі (субтрасі) необхідно виконати етапи 7 — 10.

Етап 7. Для нижнього номінального значення параметра p виконуються етапи 8 і 9.

Етап 8. За відповідним графіком для нижнього номінального значення f_{inf} визначається напруженість поля, яка перевищена в 50 % місць для вихідних значень параметрів h_1 і d з урахуванням значення h_2 .

Якщо вихідне значення параметра h_1 збігається з одним із номінальних значень, визначених у пункті 3.6 розділу 3 цього додатка, він вважається нижнім номінальним значенням. Якщо вихідне значення параметра h_1 не збігається з номінальними значеннями, визначаються пари номінальних значень h_{inf} і h_{sup} аналогічно етапів 3 і 4. При цьому результуюче значення напруженості поля для вихідного значення параметра h_1 розраховується відповідно до етапів 8.1 — 8.4.

Етап 8.1. Для сухопутних трас, якщо вихідне значення параметра h_1 є в межах 10 — 1 200 м і не збігається з одним із визначених номінальних значень параметра h_1 , значення напруженості поля розраховується за формулою:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \frac{\lg(h_1 / h_{inf})}{\lg(h_{sup} / h_{inf})}, \text{ дБмкВ/м}, \quad (68)$$

де: $h_{inf} = 600$ м, якщо $h_1 > 1\,200$ м. В іншому випадку — найближче номінальне значення h_{eff} менше за h_1 ;

$h_{sup} = 1\,200$ м, якщо $h_1 < 1\,200$ м. В іншому випадку — найближче номінальне значення h_{eff} більше за h_1 ;

E_{inf} — значення напруженості поля на заданій відстані для h_{inf} ;

E_{sup} — значення напруженості поля на заданій відстані для h_{sup} ;

h_{eff} — ефективна висота передавальної антени, яка визначається як висота антени над рівнем Землі, усереднену на відстані 3 — 15 км у напрямку від передавальної до приймальної антени.

Розраховане значення напруженості поля не повинне перевищувати максимально можливого значення, розрахованого для умов поширення радіохвиль у вільному просторі за формулою:

$$E_{max} = E_{free}, \text{ дБмкВ/м}, \quad (69)$$

де: E_{free} — напруженість поля у вільному просторі (для е.в.п. = 1 кВт),

$$E_{free} = 106,9 - 20 \lg(d).$$

Етап 8.2. Для сухопутних і змішаних трас, якщо вихідне значення параметра h_1 знаходиться в межах від 0 до 10 м, у розрахунках значення напруженості поля враховується значення відстані до видимого обрію $d_H(h)$, яке обчислюється за формулою:

$$d_H(h_1) = 4,1\sqrt{h_1}, \quad (70)$$

де: h_1 — вихідне значення висоти антени передавача, м.

Якщо для вихідного значення параметра d виконується нерівність $d < d_H(h_1)$, значення напруженості поля визначається за відповідним графіком для відстані $d_H(10)$ і значення $h_1 = 10$ м, з додаванням поправки ΔE :

$$E = E_{10}(d_H(10)) + \Delta E = E_{10}(d_H(10)) + E_{10}(d) - E_{10}(d_H(h_1)), \text{ дБмкВ/м}, \quad (71)$$

де: $E_{10}(d)$ — значення напруженості поля на відстані d для $h_1=10$ м, визначене за відповідним графіком;

$E_{10}(d_H(h_1))$ — значення напруженості поля на відстані $d_H(h_1)$, визначене за графіком для номінального значення $h_1=10$ м.

Якщо для вихідного значення параметра d виконується умова $d \geq d_H(h_1)$, значення напруженості поля розраховується за формулою:

$$E = E_{10}(d_H(10) + d - d_H(h_1)), \text{ дБмкВ/м}. \quad (72)$$

При цьому необхідно враховувати, що якщо має місце нерівність $d_H(10) + d_H(h_1) > 1\,000$ км, значення напруженості поля розраховується за іншою формулою:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \frac{\lg(d / d_{inf})}{\lg(d_{sup} / d_{inf})}, \quad (73)$$

де: d_{inf} — передостаннє значення d в таблиці 4 цього додатка;

d_{sup} — останнє значення d в таблиці 4 цього додатка;

E_{inf} — значення напруженості поля для d_{inf} , дБмкВ/м;

E_{sup} — значення напруженості поля для d_{sup} , дБмкВ/м.

Етап 8.3. Для морських трас і якщо значення h_1 не менше ніж 1 м, у розрахунках значення напруженості поля враховується відстань, на якій морська траса має просвіт у тій частині першої зони Френеля, радіус якої дорівнює $0,6 R_{F1}$ для реального значення h_1 і значення $h_2=10$ м:

$$D_{06} = D_{h1}(f, h_1, h_2) = \frac{D_f \cdot D_h}{D_f + D_h}, \quad (74)$$

де: $D_f = 0,0000389 f h_1 h_2$;

$D_h = 4,1(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$;

$h_2=10$ м.

Якщо має місце нерівність $d > D_{h1}$, додатково розраховується відстань, на якій морська траса має просвіт у тій частині першої зони Френеля, радіус якої дорівнює $0,6 R_{F1}$, для значення $h_1=20$ м і значення $h_2=10$ м, використовуючи наведену формулу.

Напруженість поля для морської траси розраховується за однією з нижченаведених формул і визначених умов:

$$E = E_{\max}, \text{ дБмкВ/м, якщо } d \leq D_{h1}; \quad (75)$$

$$E = E_{D_{h_1}} + (E_{D_{20}} - E_{D_{h_1}}) \frac{\lg(d/D_{h_1})}{\lg(D_{20}/D_{h_1})}, \text{ дБмкВ/м, якщо } D_{h_1} < d < D_{20}; \quad (76)$$

$$E = E'(1 - F_s) + E''F_s, \text{ дБмкВ/м, якщо } d \geq D_{20}, \quad (77)$$

де: $E_{\max}$ — максимальне значення напруженості поля для вихідного значення відстані d , $E_{\max} = E_{\text{free}} + E_{\text{sea}}$, дБмкВ/м; (78)

E_{free} — напруженість поля у вільному просторі (для е.в.п. = 1 кВт),
де: $E_{\text{free}} = 106,9 - 20 \lg(d)$; (79)

E_{sea} — посилення, яке виникає на морських трасах,
 $E_{\text{sea}} = 2,38 \{1 - \exp(-d/8,94)\} \lg(50/p)$; (80)

$E_{D_{h_1}}$ — максимальне значення $E_{\max}$ для відстані D_{h_1} , дБмкВ/м;
 $E_{D_{20}} = E_{10}(D_{20}) + (E_{20}(D_{20}) - E_{10}(D_{20})) \lg(h_1/10)/\lg(20/10)$; (81)

$E_{10}(d)$ — напруженість поля за графіком для номінального значення $h_1 = 10$ м, інтерпольована для відстані d ;

$E_{20}(d)$ — напруженість поля за графіком для номінального значення $h_1 = 20$ м,
інтерпольована для відстані d ;

$$E' = E_{10}(d) + (E_{20}(d) - E_{10}(d)) \lg(h_1/10)/\lg(20/10); \quad (82)$$

E'' — напруженість поля на відстані d , розрахована за формулою, визначеною для етапу 8.2;

$$F_s = (d - D_{20})/d. \quad (83)$$

Етап 8.4. Якщо параметр h_1 має від'ємне значення, у розрахунках напруженості поля враховується вплив дифракції на поширення радіохвиль, яка спричинена найближчими природними перешкодами.

У такому разі розрахунки виконуються, припустивши, що $h_1=0$, при цьому враховується поправка C_{k1} до результуючого значення напруженості поля, яка розраховується за формулою:

$$C_{k1} = 6,03 - J(v), \quad (84)$$

де: $J(v)$ — дифракційні втрати, які розраховуються за формулою, наведеною у підпункті 1.3.1 пункту 1.3 розділу 1 цього додатка, за умови, що $v > -0,7806$. В інших випадках приймається $J(v) = 0$ або розраховується за формулою $v = K_v \theta_{\text{eff} 2}$;

$$\theta_{\text{eff} 2} \text{ — ефективний кут просвіту місцевості, } \theta_{\text{eff} 2} = \arctg\left(\frac{-h_1}{9\,000}\right); \quad (85)$$

K_v — коефіцієнт, який має такі значення:

$$K_v = 1,35 \text{ для } f = 100 \text{ МГц;}$$

$K_v=3,31$ для $f=600$ МГц;

$K_v=6,00$ для $f=2\,000$ МГц.

Етап 8.5. Якщо вихідне значення d не збігається з номінальними, процедура етапів 8.1 — 8.4 для верхнього номінального значення d_{sup} .

Остаточне значення напруженості поля для вихідного значення d розраховується за формулою:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \frac{\lg(d / d_{inf})}{\lg(d_{sup} / d_{inf})}, \text{ дБмкВ/м}; \quad (86)$$

де: d_{inf} — найближче номінальне значення відстані менше за d , км;

d_{sup} — найближче номінальне значення відстані більше за d , км.

Етап 9. Якщо вихідне значення параметра f не збігається з номінальними, необхідно повторити етап 8 для верхнього номінального значення f_{sup} .

Остаточне значення напруженості для вихідного значення параметра f розраховується за формулою:

$$E = E_{inf} (E_{sup} - E_{inf}) \frac{\lg(f / f_{inf})}{\lg(f_{sup} / f_{inf})}, \text{ дБмкВ/м}, \quad (87)$$

де: f — робоча частота РЕЗ, МГц;

f_{inf} — нижня номінальна частота, МГц;

f_{sup} — верхня номінальна частота, МГц;

E_{inf} — значення напруженості поля для f_{inf} , дБмкВ/м;

E_{sup} — значення напруженості поля для f_{sup} , дБмкВ/м.

Розраховане значення напруженості поля не повинно перевищувати максимально можливого значення, розрахованого для умов поширення радіохвиль у вільному просторі.

Етап 9.1. Для морських трас, якщо вихідне значення $f < 100$ МГц, значення напруженості поля розраховується за формулою:

$$E = E_{max}, \text{ дБмкВ/м, для } d \leq d_f; \quad (88)$$

$$E = E_{d_f} + (E_{d_{600}} - E_{d_f}) \frac{\lg(d / d_f)}{\lg(d_{600} / d_f)}, \text{ дБмкВ/м, для } d > d_f, \quad (89)$$

де: E_{max} — максимальне значення напруженості поля, дБмкВ/м;

E_{d_f} — максимальне значення напруженості поля на відстані d_f , дБмкВ/м;

d_{600} — відстань, на якій траса має просвіт в 0,6 першої зони Френеля на частоті 600 МГц, яка розраховується за формулою:

$$d_{600} = D_{06(f)} = \frac{D_{600} \cdot D_h}{D_{600} + D_h} \text{ (км)}, \quad (90)$$

$$\text{де: } D_{600} = 0,02334 h_1 h_2; \quad (91)$$

$$D_h = 4,1(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}); \quad (92)$$

h_1, h_2 — висота передавальної і приймальної антени над гладкою поверхнею Землі;

d_f — відстань, на якій траса має просвіт в 0,6 зони Френеля на частоті f ,
де $d_f = 0,0000389 f h_1 h_2$;

E_{600} — значення напруженості поля на відстані d_{600} .

Етап 10. Якщо вихідне значення p не збігається з одним з номінальних значень, визначених у пункті 3.6 розділу 3 цього додатка, повторюються етапи 8 і 9 для верхнього номінального значення p_{sup} .

Прогнозоване значення напруженості поля для вихідного значення p розраховується за формулою:

$$E = E_{sup} \frac{Q_{inf} - Q_p}{Q_{inf} - Q_{sup}} + E_{inf} \frac{Q_p - Q_{sup}}{Q_{inf} - Q_{sup}}, \text{ дБмкВ/м, } (93)$$

де: p — значення відсотка часу, для якого здійснюється прогнозування;

p_{inf} — нижнє номінальне значення p ;

p_{sup} — верхнє номінальне значення p ;

E_{inf} — значення напруженості поля для p_{inf} ;

E_{sup} — значення напруженості поля для p_{sup} ;

$Q_p = Q_i (p/100)$;

$Q_{inf} = Q_i (p_{inf}/100)$;

$Q_{sup} = Q_i (p_{sup}/100)$;

$Q_i(x)$ — обернена додаткова функція кумулятивного нормального розподілу (див. Рекомендацію ITU-R P.1546).

Етап 11. Прогнозування для випадку змішаної траси виконується послідовним застосуванням процедури етапів 6 — 10 до кожної із субтрас.

У розрахунках необхідно враховувати такі рекомендації:

якщо змішана траса одночасно включає ділянки холодного і теплого моря, для визначення напруженості поля для морської ділянки траси $E_{sea}(d)$ використовуються графіки для теплого моря;

значення h_1 розраховується з урахуванням того, що висота поверхні моря визначається аналогічно суходолу;

одне й те саме значення h_1 використовується як для розрахунку значення напруженості поля для суходільної ділянки траси $E_{land}(d)$, так і для морської ділянки траси $E_{sea}(d)$;

якщо виконується умова $h_1 < 3$ м, у розрахунках параметра $E_{land}(d)$ використовується дійсне значення h_1 , тоді як у розрахунках параметра $E_{sea}(d)$ використовується тільки значення $h_1 = 3$ м.

Результуюче значення напруженості поля на заданій відстані від передавача для змішаної траси розраховується за формулою:

$$E_{mixed} = (1 - A_i) \cdot E_{land}(d_{total}) + A_i \cdot E_{sea}(d_{total}), \text{ дБмкВ/м}, \quad (94)$$

де: A_i — коефіцієнт інтерполяції для змішаної траси, $A_i = A_0(F_{sea})^V$;

$A_0(F_{sea})$ — базовий коефіцієнт інтерполяції, який розраховується відповідно до методики, викладеної в Рекомендації ITU-R P.1546;

$$F_{sea} = \frac{d_{sT}}{d_T}; V = \max\left[1, 0; 1, 0 + \frac{\Delta}{40, 0}\right]; \quad (95)$$

$$\Delta = \sum_{n=1}^{N_s} E_{sn}(d_T) \frac{d_{sn}}{d_{sT}} - \sum_{m=1}^{M_l} E_{lm}(d_T) \frac{d_{lm}}{d_{lT}}; \quad (96)$$

N_s — загальна кількість морських і берегових ділянок;

N — порядковий номер морської ділянки, $n = 1, 2, \dots, N_s$;

M_l — загальна кількість сухопутних ділянок;

m — порядковий номер сухопутної ділянки траси, $m = 1, 2, \dots, M_l$;

d_{sn} — довжина морської ділянки траси n , км;

d_{lm} — довжина сухопутної ділянки траси m , км;

$d_{sT} = \sum_{n=1}^{N_s} d_{sn}$ — загальна довжина морських ділянок траси;

$d_{lT} = \sum_{m=1}^{M_l} d_{lm}$ — загальна довжина сухопутних ділянок траси;

$d_T = d_{sT} + d_{lT}$ — довжина всієї траси;

$E_{sn}(d_T)$ — значення напруженості поля для відстані d_T , якщо вся траса проходить над морем;

$E_{lm}(d_T)$ — значення напруженості поля для відстані d_T , якщо вся траса проходить над суходолом;

d_{total} — довжина змішаної траси;

$E_{land}(d_{total})$ і $E_{sea}(d_{total})$ — напруженість поля для сухопутної і морської ділянки траси відповідно.

Етап 11.1. Якщо змішана траса перетинає дві і більше різнотипних ділянок, напруженість поля на заданій відстані від передавача розраховується за формулою:

$$E_{mixed} = \sum_i \frac{d_i}{d_{total}} E_i(d_{total}), \quad (97)$$

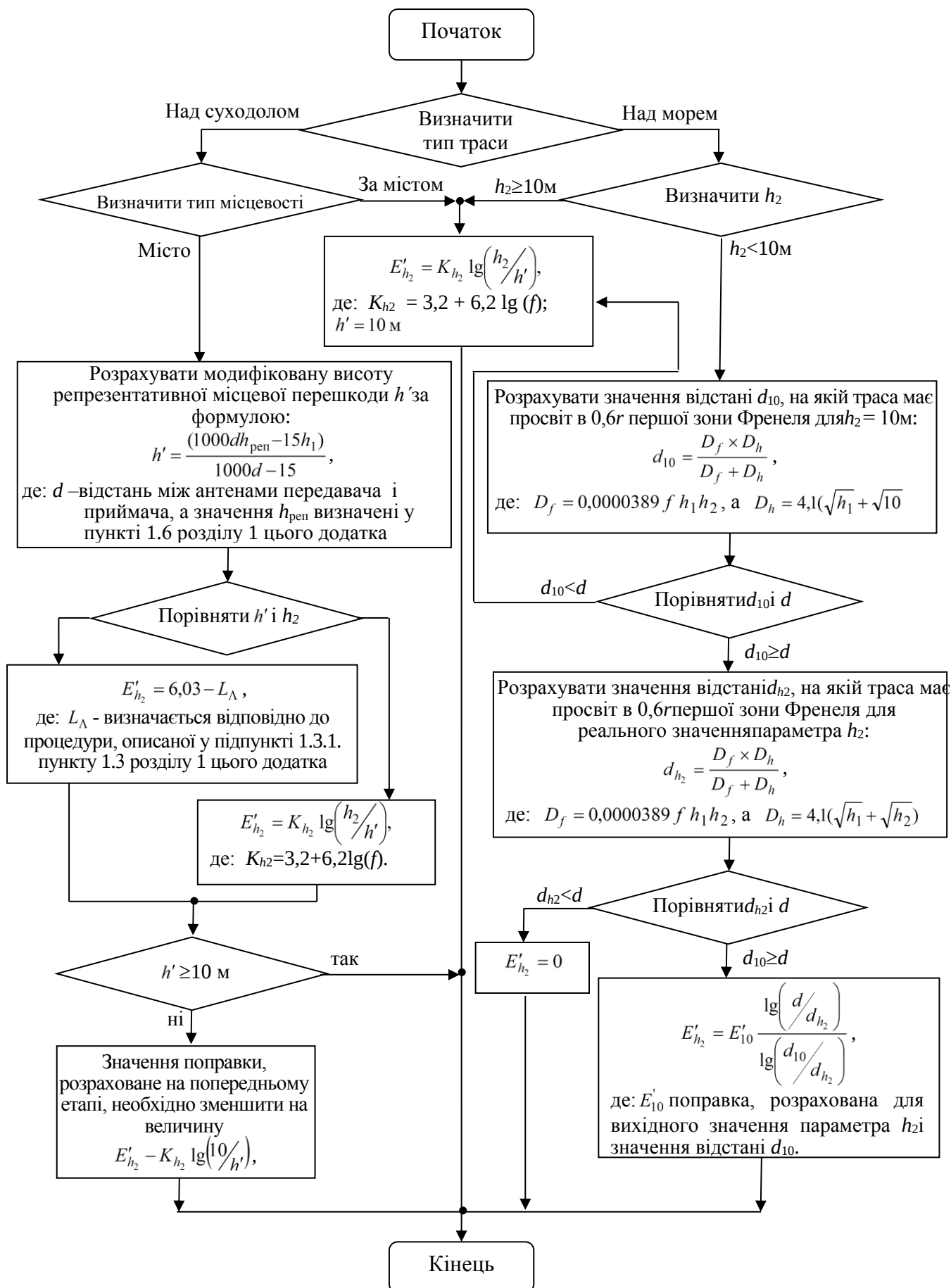
де: $E_i(d_{total})$ — напруженість поля для траси в зоні i ;
 d_i — довжина траси в зоні i .

Етап 11.2. Якщо в розглядуваному сценарії є сполучення трьох або декількох ділянок на змішаній трасі, в яких є тільки одна межа між суходолом і морем або між суходолом і береговою зоною, напруженість поля на заданій відстані від передавача розраховується за формулою:

$$E_{mixed} = (1 - A_l) \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n_l} d_i E_{land,i}}{d_{lt}} + A_l \cdot \frac{\sum_{j=1}^{n_s} d_j E_{sea,j}}{d_{st}}, \quad (98)$$

де: $E_{land,i}$ і $E_{sea,j}$ — напруженість поля для i -ї сухопутної і j -ї морської ділянки траси відповідно;
 d_i, d_j — довжина траси в зонах i та j ;
 d_{lt} — довжина всієї сухопутної ділянки траси;
 d_{st} — довжина всієї морської ділянки траси.

Етап 12. Якщо вихідне значення h_2 не збігається з одним з еталонних значень, визначених у пункті 6 розділу 3 цього додатка, до прогнозованого значення напруженості поля додається поправку E'_{h_2} , яка розраховується відповідно до схеми розрахунку поправки E'_{h_2} наведеної на рисунку 6 цього додатка.

Рисунок 6. - Схема розрахунку поправки E'_{h_2}

Етап 13. Для сухопутних трас або у випадку розташування приймальної антени на сухопутній ділянці змішаної траси за наявності даних, для розрахованого значення напруженості поля визначається уточнююча поправка на кут просвіту місцевості для приймальної станції за формулою:

$$E'_\theta = J(v') - J(v), \text{ дБ}, \quad (99)$$

де: $J'(v)$ і $J(v)$ — дифракційні втрати, які розраховуються за формулою, наведеною у підпункті 1.3.1 пункту 1.3 розділу 1 цього додатка, або визначаються за графіком на рисунку 2 цього додатка, враховуючи, що $v' = 0,036 \sqrt{f}$, а $v = 0,0065 \cdot \theta_{tsa} \cdot \sqrt{f}$.

Значення кута просвіту траси розраховуються за формулою:

$$\theta_{tsa} = \theta - \theta_r \text{ град}, \quad (100)$$

де: θ — кут місця для лінії від приймальної антени, що проходить, не зачіпаючи топографічних перешкод, у напрямку передавальної антени на відстань до 16 км, але не виходить за останню;

$$\theta_r — \text{опорний кут, } \theta_r = \arctg\left(\frac{(h_{1s} - h_{2s})}{1000d}\right); \quad (101)$$

h_{1s} і h_{2s} — висота передавальної і приймальної антени над рівнем моря відповідно.

При визначенні θ і θ_r кривизна поверхні Землі не враховується, а результуюче значення θ_{tsa} необхідно обмежити від $+0,55^\circ$ до $+40,0^\circ$.

Якщо вихідне значення частоти f збігається з одним із номінальних значень, визначених у пункті 3.6 розділу 3 цього додатка, значення поправки E'_θ визначається за графіком на рисунку 7 цього додатка.

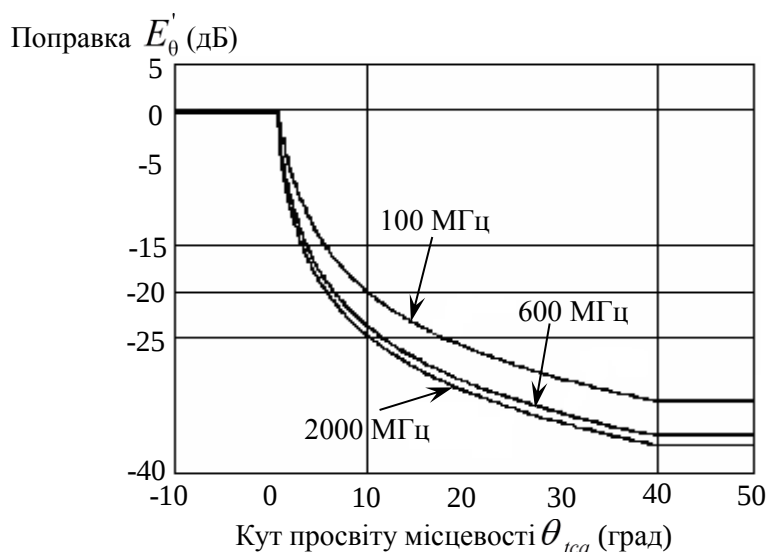


Рисунок 7. – Графіки залежності поправки E'_θ від θ_{tsa} для номінальних значень f : 100 МГц, 600 МГц і 2 000 МГц

Якщо вихідне значення f не збігається з номінальним, значення поправки визначається за графіками шляхом лінійної інтерполяції або екстраполяції значень поправки, отриманих для номінальних значень f .

Етап 14. Для трас довжиною менше ніж 15 км, які проходять через міські або приміські географічні області із забудовами однакової висоти, до розрахованого значення напруженості поля додається поправка, яка розраховується за формулою:

$$E'_{\text{заб}} = -3,3(\lg(f))(1 - 0,85 \lg(d))(1 - 0,46 \lg(1 + h_a - R)), \quad (102)$$

де: h_a — висота антени над поверхнею Землі, м;

R — висота наземного покриву навколо приймальної антени.

Етап 15. Розраховане значення напруженості поля (з урахуванням усіх необхідних поправок) обмежується максимально можливим значенням, яке для морських трас розраховується за формулою, визначеною на етапі 8.3, а для сухопутних і змішаних трас — на етапі 8.1.

Етап 16. Розраховане значення напруженості поля перераховується у базові втрати поширення радіохвиль за формулою, наведеною у пункті 3.2 розділу 3 цього додатка.

У розрахунках враховується, що напруженість поля, може бути заниженою, оскільки через відсутність інформації про реальний рельєф місцевості на трасі поширення радіохвиль у розрахунках не повністю враховуються особливості тропосферного розсіювання радіохвиль. За наявності такої інформації прогнозоване значення напруженості поля, обумовлене тропосферним розсіюванням радіохвиль, розраховується за такою процедурою.

Крок 1. Розрахунок кута розсіювання на трасі за формулою:

$$\theta_s = \frac{180d}{\pi k a} + \theta_{\text{eff}} + \theta_t, \quad (103)$$

де: θ_t — кут просвіту місцевості для приймальної станції (h_2), розрахований аналогічно процедурі етапу 15;

θ_{eff} — кут просвіту місцевості для передавальної станції (h_1);

D — довжина траси, км;

a — радіус Землі;

k — 4/3, ефективний коефіцієнт радіуса Землі для медіанних умов рефракції.

Якщо розраховане значення θ_s менше 0, значення кута вважається рівним 0.

Крок 2. Розрахунок напруженості поля, прогнозованої для врахування тропосферного розсіювання радіохвиль, за формулою:

$$E_{\text{trop}} = 24,4 - 20 \lg(d) - 100_s - L_f + 0,15 N_0 + G_t, \quad (104)$$

де: L_f — втрати, які залежать від частоти, $L_f = 5 \lg(f) - 2,5(\lg(f) - 3,3)^2$; (105)

$N_0 = 325$, рефракція медіанної поверхні в одиницях, типових для вимірювань в умовах помірного клімату;

$G_t = 10,1(-\lg(0,02t))^{0,7}$ — підсилення залежно від часу; (106)

d — довжина траси, км;

f — необхідне значення частоти, МГц;

t — необхідне значення відсотка часу.

Для врахування різниці у висотах передавальної і приймальної антен, до прогнозованого значення напруженості поля, додається поправка, розрахована за формулою:

$$E_{h1 \uparrow h2} = 20 \lg \left(\frac{d}{d_{slope}} \right); \quad (107)$$

де: d_{slope} — так звана похила відстань, яка розраховується таким чином:

якщо є інформація про рельєф місцевості:

$$d_{slope} = \sqrt{d^2 + 10^{-6}[(h_1 + h_{tter}) - (h_2 + h_{rter})]^2}, \quad (108)$$

де: h_{tter} і h_{rter} — висота місцевості в метрах над рівнем моря в місцях розташування передавальної і приймальної станції відповідно;

якщо інформації про рельєф місцевості немає:

$$d_{slope} = \sqrt{d^2 + 10^{-6}[h_1 - h_2]^2}. \quad (109)$$

Для трас протяжністю менше ніж 1 км, прогнозовану напруженість поля розраховується за формулами:

$E = 106,9 - 20 \lg(d_{slope})$, якщо горизонтальна відстань менше ніж 0,04 км;

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \frac{\lg(d_{slope}/d_{inf})}{\lg(d_{sup}/d_{inf})}, \text{ в іншому випадку.} \quad (110)$$

При цьому розрахунки виконуються з припущеннями, що в разі зменшення довжини траси поширення радіохвиль до 1 км збільшується імовірність виникнення так званих трас з меншими втратами внаслідок обминання перешкод, а не проходження над ними. Для трас з горизонтальною протяжністю менше ніж 0,04 км вважається, що між передавальною і приймальною станціями існує пряма видимість з повним просвітом у першій зоні Френеля і напруженість поля розраховується, як значення прогнозоване для моделі поширення радіохвиль у вільному просторі на основі так званої похилої відстані d_{slope} .

4. Розрахунки, які використовуються у прогнозуванні базових втрат поширення радіохвиль між джерелом і рецептором завад

4.1. Для прогнозування мікрохвильових завад у сценаріях за участю РЕЗ рухомої служби і РЕЗ інших радіослужб визначається тип траси між джерелом і рецептором завади за такою класифікацією:

траси прямої видимості з просвітом у першій зоні Френеля;

траси прямої видимості з дифракцією на субтрасах (частковим закриттям першої зони Френеля об'єктами рельєфу місцевості);

заобрійні траси.

Тип траси визначається за геометричними характеристиками її профілю.

4.2. Побудова профілю траси між джерелом і рецептором завади здійснюється відповідно до Рекомендації ITU-R P.452.

Для побудови профілю траси використовується такі вихідні дані:

$(\varphi_s; \psi_s)$ та $(\varphi_r; \psi_r)$ — географічні координати розташування конфліктуючих станцій на поверхні Землі (широта і довгота);

f — робоча частота РЕЗ, ГГц;

p (%) — відсоток часу, протягом якого не перевищені (перевищені) прогнозовані базові втрати поширення радіохвиль;

h_{tg}, h_{rg} — висоти електричних центрів антен конфліктуючих станцій над рівнем Землі, м;

h_{ts}, h_{rs} — висоти електричних центрів антен конфліктуючих станцій над середнім рівнем моря, м;

$G_{\text{прд}}, G_{\text{прм}}$ — коефіцієнти підсилення антен передавача-джерела завади і приймача-рецептора завади відповідно в напрямку обрію вздовж траси розповсюдження радіохвиль між джерелом і рецептором завади, дБі.

4.3. Під час побудови та аналізування профілю траси враховується таке:

1) розрізнявальну спроможність по відстані уздовж профілю траси обирають з дискретністю від 0,25 км до 0,5 км;

2) як кінцеві пункти на геометричному профілі траси обирають висоту точки випромінювання і прийому радіохвиль (висоту підвісу антени) над поверхнею Землі (з урахуванням кривизни та можливого викривлення траси внаслідок атмосферної рефракції);

3) еквівалентний радіус Землі, що відповідає заданому відсотку часу (p), для якого виконується прогнозування, розраховуються за формулою:

$$a_e(p)_{(\text{км})} = 6371 \cdot k(p), \quad (111)$$

де: $k(p) = k_{50} + (5 - k_{50}) \cdot e^{-5,3p}$ — коефіцієнт збільшення ефективного радіуса Землі за рахунок рефракції для заданого відсотка часу;

$k_{50} = \frac{157}{157 - \Delta N}$ — середнє значення коефіцієнта збільшення ефективного радіуса Землі за рахунок рефракції;

ΔN — середній вертикальний градієнт індексу рефракції радіохвиль у межах нижнього шару атмосфери товщиною 1 км (ΔN), який визначається за всесвітньою картою середніх річних і максимальних середньомісячних значень ΔN ;

$$\eta = \frac{\lg(p/\beta_0)}{\lg(1 + 20/\beta_0)}; \quad (112)$$

β_0 (%) — граничний відсоток часу, після якого стають помітними ефекти аномального поширення радіохвиль;

4) параметр β_0 розраховується відповідно до методики, викладеної в Рекомендаціях ITU-R P.620 або ITU-R P.452;

5) значення параметра β_0 визначається для середньої точки траси, географічні координати якої (φ_0 і ψ_0) можна обчислити, якщо відомі координати передавача і приймача, $\varphi_0 = (\varphi_t + \varphi_r)/2$ та $\psi_0 = (\psi_t + \psi_r)/2$;

6) для України значення параметра β_0 змінюється від 2 % на північному заході до 7 % на південному сході.

4.4. Під час аналізування профілю траси використовуються графічні пояснення, наведені в Рекомендації ITU-R P.452.

За наслідками аналізу профілю траси визначаються такі параметри:

a_e — еквівалентний радіус Землі, км;

d — відстань на трасі по дузі великого кола, км;

d_i — відстань по дузі великого кола від станції, до i -ї точки поверхні, км;

d_{ii} — інтервал збільшення для регулярних даних профілю траси, км;

θ_t — кут місця відносно горизонту над місцевою горизонталлю (рад), яку вимірюють з боку станції, що створює завади;

θ_r — кут місця відносно горизонту над місцевою горизонталлю (рад), який вимірюють з боку станції, що відчуває вплив завад;

θ — кутова відстань на трасі, рад;

h_{st} — висота гладкої поверхні Землі у місці розміщення джерела завад, м;

h_{sr} — висота гладкої поверхні Землі у місці розміщення рецептора завад, м;

H_i — висота i -ї точки земної поверхні над середнім рівнем моря, м;

h_m — нерівність земної поверхні, м;

h_{te} — ефективна висота антени передавача, м;

h_{re} — ефективна висота антени приймача, м.

4.5. Під час визначення типу траси перевіряється виконання однієї з таких умов:

якщо у першій зоні Френеля немає топографічних перешкод, трасу класифікують як трасу прямої видимості з просвітом у першій зоні Френеля;

якщо у першій зоні Френеля є топографічні перешкоди, які не виходять за її межі, траса класифікується як траса прямої видимості з дифракцією на субтрасах;

якщо виконується умова $\theta_{\max} > \theta_{t(d)}$, трасу класифікують як заобрійну, де:

$$\theta_{\max} = \max_{i=1}^{n-1} (\theta_i);$$

$$\theta_i = \frac{(h_i + R_i) - h_{ts}}{d_i} - \frac{10^3 d_i}{2 a_e}, \text{ мрад} — \text{кут місця антени відносно } i\text{-ї точки}$$

земної поверхні з урахуванням просвіту для першої зони Френеля;

$$R_i = 17,392 \sqrt{\frac{d_i(d - d_i)}{d \cdot f}} — \text{радіус першого еліпсоїда Френеля для}$$

будь-якої точки траси;

$$\theta_{t(d)} = \frac{h_{rs} - h_{ts}}{d} - \frac{10^3 d}{2 a_e}, \text{ мрад};$$

$$d = \sum_{i=1}^n (d_i - d_{i-1}).$$

4.6. У розрахунках базових втрат поширення радіохвиль на трасі прямої видимості з просвітом у першій зоні Френеля ($L_{path}(p)$) враховуються базові втрати поширення радіохвиль в умовах прямої видимості, які розраховуються за формулою, наведеною у пункті 1.2 розділу 1 цього додатка, і додаткові втрати, які виникають внаслідок відбиття радіохвиль від місцевих предметів (якщо такі є).

Значення параметра $L_{path}(p)$ розраховується за формулою:

$$L_{path}(p) = L_{LoS}(p) + A_{h1} + A_{h2}, \quad (113)$$

де: $L_{LoS}(p)$ — прогнозоване значення базових втрат поширення радіохвиль в умовах прямої видимості;

A_{h1} , A_{h2} — додаткові втрати, які виникають внаслідок відбиття радіохвиль від об'єктів на місцевості (дерева, будівлі тощо).

Значення додаткових втрат A_{h1} , A_{h2} розраховуються за формулою:

$$A_{h_i} = 10.25 \cdot e^{-d_k} \left(1 - \operatorname{tg} \left[6 \left(\frac{h_i}{h_a} - 0.625 \right) \right] \right) - 0.33, \text{ дБ}, \quad (114)$$

де: d_k — відстань (км) до антени від об'єкта, що відбиває промені;
 h_i — висота антени передавача-джерела завади або антени приймача-рецептора завади над рівнем Землі, м;
 h_a — номінальна висота відбиваючого об'єкта над висотою рельєфу місцевості, м.

Розрахунки параметрів A_{h1} і A_{h2} здійснюються згідно із рисунком 8.

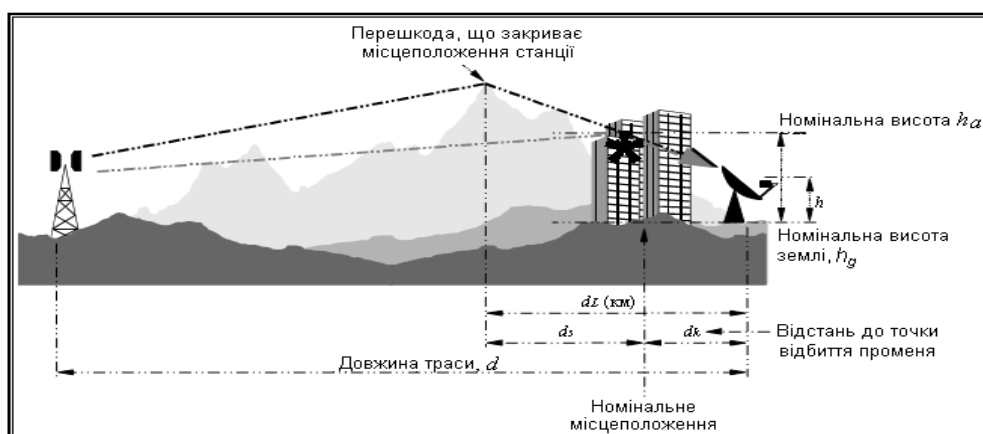


Рисунок 8. — Визначення параметрів для розрахунку додаткових втрат, які виникають внаслідок відбиття радіохвиль від об'єктів на місцевості

Категорії об'єктів місцевості, які мають властивість відбивати радіохвилі та їхні характеристики, визначено в Рекомендації ITU-R P.1058.

4.7. У розрахунках базових втрат поширення радіохвиль на трасі прямої видимості з дифракцією на субтрасах ($L_{path_2}(p)$) враховуються базові втрати поширення радіохвиль в умовах прямої видимості, які розраховуються за формулою, наведеною у пункті 1.2 розділу 1 цієї Методики; додаткові втрати, які виникають внаслідок відбиття радіохвиль від місцевих предметів (якщо такі є), і додаткові втрати, які можуть виникати внаслідок дифракції радіохвиль.

Значення параметра $L_{path_2}(p)$ розраховуються за формулою:

$$L_{path_2}(p) = L_{LoS}(p) + L_{диф}(p) + A_{h1} + A_{h2}, \text{ дБ}, \quad (115)$$

де: $L_{диф}(p)$ — втрати, спричинені дифракцією радіохвиль на субтрасах (переважно внаслідок атмосферної рефракції), які розраховуються за формулою, наведеною у підпункті 1.3.5 пункту 1.3 розділу 1 цього додатка.

4.8. У розрахунках базових втрат поширення радіохвиль на заобрійних трасах ($L_{path_3}(p)$) враховують втрати, спричинені дифракцією радіохвиль (для $d > 200$ км); додаткові втрати, які виникають внаслідок відбиття радіохвиль від місцевих предметів (якщо такі є), і додаткові втрати, спричинені тропосферним розсіюванням і аномальним поширенням радіохвиль.

Загальний прогноз втрат поширення радіохвиль $L_{path_3}(p)$ між джерелом і рецептором завад на заобрійних трасах розраховуються в три етапи.

На першому етапі розраховуються незмінні втрати, спричинені аномальним поширенням радіохвиль ($L_{ан}$), за формулою, наведеною у пункті 1.5 розділу 1 цього додатка.

На другому етапі, враховуючи отримані значення параметра $L_{ан}$, розраховуються змінні втрати аномального поширення радіохвиль ($L_{ан.зм}$) за формулою:

$$L_{ан.зм}(p) = L_{диф.зм}(p) + (L_{min.ls}(p) - L_{диф.зм}(p)) \cdot F_i \text{ дБ}, \quad (116)$$

$$\text{де: } L_{диф.зм}(p) = \begin{cases} L_{диф}(p) \text{ дБ, } L_{диф}(p) < L_{min.ls}(p); \\ L_{min.ан}(p) - (L_{диф}(p) - L_{min.ан}(p)) \cdot F_k \text{ дБ, } L_{диф}(p) \geq L_{min.ls}(p); \end{cases}$$

$L_{диф}(p)$ — втрати за рахунок дифракції радіохвиль, які не перевищені протягом заданого відсотка часу;

$$F_k = 1,0 - 0,5 \left(1,0 + \operatorname{tg} \left(3,0 \cdot k \cdot \frac{d - d_{sw}}{d_{sw}} \right) \right) — \text{ коефіцієнт інтерполяції, який}$$

поєднує втрати, що виникають внаслідок аномального і дифракційного поширення радіохвиль;

d_{sw} — фіксований параметр, який визначає діапазон довжин перехідних ділянок заобрійної траси (зазвичай обирається рівним 20);

k — фіксований параметр, який визначає кут нахилу надходження сигналу на кінцях діапазону d_{sw} (зазвичай обирається рівним 0,5);

$L_{min.ls}(p)$ — уявні мінімальні втрати поширення радіохвиль, дБ, яких можуть досягати змінні втрати, що виникають внаслідок аномального поширення радіохвиль (хвильовдне поширення/рефракція);

$$L_{min.ls}(p) = \begin{cases} L_{ls}(p), \text{ якщо } p < \beta_0; \\ L_{диф}(50) - (L_{диф}(50) - L_{ls}(\beta_0)) \cdot F_i, \text{ якщо } p < \beta_0; \end{cases}$$

$L_{диф}(50)$ — уявні втрати, які виникають внаслідок дифракції радіохвиль і оцінюються для 50 % часу;

$L_{\text{диф}}(\beta_0)$ — уявні втрати, дБ, які виникають внаслідок поширення радіохвиль в умовах прямої видимості і оцінюються для заданого значення β_0 (%);

$L_{\text{мін.ан}}(p) = \eta \cdot \ln \left(\exp \left(\frac{L_{\text{ан}}(p)}{\eta} \right) + \exp \left(\frac{L_{\text{лс}}(p)}{\eta} \right) \right)$ — змінні втрати, дБ, які виникають внаслідок аномального поширення радіохвиль, де η зазвичай обирається рівним 2,5;

F_i — коефіцієнт інтерполяції, який базується на логнормальному розподілі втрат за рахунок дифракції радіохвиль;

$F_j = 1,0 - 0,5 \left(1,0 + \operatorname{tg} \left(3,0 \cdot \xi \cdot \frac{\theta - \Theta}{\Theta} \right) \right)$ — коефіцієнт інтерполяції, який поєднує змінні втрати, що виникають внаслідок аномального поширення радіохвиль, і уявні втрати, які виникають у разі поширення радіохвиль в умовах прямої видимості;

θ — кутова відстань на трасі;

$\Theta = 0,3$, $\xi = 0,8$.

Результуюче значення базових втрат поширення радіохвиль на заобрійній трасі розраховуються на третьому етапі за формулою:

$$L_{\text{path}_b}(p) = -5 \lg \left(10^{-0,2L_{\text{троп}}} + 10^{-0,2L_{\text{диф}}} + 10^{-0,2L_{\text{ан.зм}}} \right) + A_{h1} + A_{h2}, \text{ дБ, (117)}$$

де: $L_{\text{троп}}(p)$ і $L_{\text{диф}}(p)$ — додаткові втрати, спричинені дифракцією і тропосферним розсіюванням радіохвиль.

Розрахунок параметра $L_{\text{троп}}(p)$ розраховується за формулою, викладеною у пункті 1.4 розділу 1 цього додатка.

4.9. Прогнозування базових втрат поширення радіохвиль між джерелом і рецептором завод, які працюють на частотах вище 100 МГц і розташовані на поверхні Землі, здійснюється за такими етапами.

Етап 1. Визначаються вихідні дані для побудови профілю траси і технічні характеристики РЕЗ, необхідні для подальших розрахунків.

Етап 2. Обирається вид прогнозу: для “найгіршого місяця” або для “усередненого року”.

Етап 3. У разі вибору виду прогнозу “для найгіршого місяця” розраховується значення річного еквівалента відсотка часу для відсотка часу “найгіршого місяця” (p_w) для заданої широти і середньої точки траси за такою формулою:

$$p(\%) = 10^{\left(\frac{\lg(p_w) + \lg(G_L) - 0,186\omega - 0,444}{0,816 + 0,078\omega} \right)}, \quad (118)$$

де: $\omega = d_\omega / d$ — питома ділянка траси, що проходить над водою;

d_{ω} — загальна довжина ділянок траси, які проходять над водою, км;

$$G_L = \begin{cases} \sqrt{1,1 + |\cos 2\varphi|^{0,7}}, & |\varphi| \leq 45^\circ; \\ \sqrt{1,1 - |\cos 2\varphi|^{0,7}}, & |\varphi| > 45^\circ. \end{cases}$$

Етап 4. Перевіряється виконання умови: $12 p \geq p_w$. Якщо умова не виконується, значення p_w обмежується значенням $12 p$.

Етап 5. Визначаються радіометеорологічні дані за даними всесвітніх карт середніх річних і максимальних середньомісячних значень середнього індексу рефракції атмосфери (ΔN) та річних значень індексу рефракції біля поверхні моря (N_0) (див. Рекомендацію ITU-R P.452).

Етап 6. За даними, визначеними на етапі 5, розраховуються значення параметра β_0 (%) для місця, над яким розташована середня точка траси, за методикою, наведеною в Рекомендації ITU-R P.620. Для спрощення розрахунків використовуються формули наведені в Рекомендації ITU-R P.452.

Етап 7. Для визначених вихідних даних виконується побудова геометричного профілю траси і його аналізу. За наслідками аналізу визначаються дані, наведені у пункті 4.4 розділу 4 цього додатка.

Етап 8. За даними, визначеними на етапі 7, визначаються тип траси між джерелом і рецептором завади відповідно до критеріїв, визначених у пункті 4.5 розділу 4 цього додатка.

Етап 9. Розраховуються значення базових втрат поширення радіохвиль на трасі відповідного типу, визначеного на етапі 8 з використанням формул, наведених у пунктах 4.6 — 4.8 розділу 4 цього додатка.
