

Додаток 3
до Методики розрахунку
електромагнітної сумісності
для присвоєння радіочастот
радіоелектронним засобам
супутникових служб
радіозв'язку
(пункт 1 розділу VI)

ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАЦІЙНОЇ ВІДСТАНІ
з урахуванням механізмів розповсюдження виду (1) і виду (2)
під час проведення координації земних станцій
відповідно до додатка 7 до Регламенту радіозв'язку

1. Мінімальна координаційна відстань може бути визначена за два кроки. На першому кроці обчислюють відстань d_x (км) за формулою:

$$d_x = 100 \cdot \frac{(\beta_e - 40)}{2}, \quad (1)$$

де: β_e — відсоток часу, який використовують для визначення відносної області дії сталих аномальних умов розповсюдження радіохвиль на розглянутій широті розташування земної станції (ζ_r) і обчислюють за формулою:

$$\beta_e = \begin{cases} 10^{1,67-0,015\zeta_r} & \text{для } \zeta_r \leq 70^\circ \\ 4,17 & \text{для } \zeta_r > 70^\circ \end{cases}, \quad (2)$$

$$\zeta_r = \begin{cases} |\zeta| - 1,8 & \text{для } |\zeta| > 1,8^\circ \\ 0 & \text{для } |\zeta| \leq 1,8^\circ \end{cases}. \quad (3)$$

Мінімальну координаційну відстань на будь-якій частоті в діапазоні від 100 МГц до 105 ГГц розраховують за формулами:

$$d_{\min} = \begin{cases} 100 + \frac{(\beta_e - f)}{2}, \text{ км} & \text{для } f < 40 \text{ ГГц;} \\ \frac{(54 - f) \cdot d_x + 10 \cdot (f - 40)}{14}, \text{ км} & \text{для } 40 \text{ ГГц} \leq f < 54 \text{ ГГц;} \\ 10, \text{ км} & \text{для } 54 \text{ ГГц} \leq f < 66 \text{ ГГц;} \\ \frac{10 \cdot (75 - f) + 45 \cdot (f - 66)}{9}, \text{ км} & \text{для } 66 \text{ ГГц} \leq f < 75 \text{ ГГц;} \\ 45, \text{ км} & \text{для } 75 \text{ ГГц} \leq f < 90 \text{ ГГц;} \\ 45 - \frac{(f - 90)}{1,5}, \text{ км} & \text{для } 90 \text{ ГГц} \leq f \leq 105 \text{ ГГц.} \end{cases} \quad (4)$$

Таким чином, мінімальні координаційні відстані для різних діапазонів радіочастот, розраховані відповідно до формули 4 цього додатка, є

вихідними значеннями для ітераційних обчислень необхідної координаційної відстані.

2. Визначення координаційної відстані з урахуванням механізму розповсюдження виду (1)

Для обчислення максимальної координаційної відстані з урахуванням механізму розповсюдження радіохвиль виду (1) ітераційним методом необхідно встановити верхню межу обмеження ($d_{\max}$). Для радіочастот, менших чи рівних 60 ГГц, і трас розповсюдження, які цілком пролягають у межах однієї радіокліматичної зони, значення максимальної координаційної відстані не повинне перевищувати величини, зазначеної в таблиці 3 додатка 7 до РР (таблиця 1 цього додатка):

Таблиця 1

Максимальна координаційна відстань
для розповсюдження радіохвиль виду (1) на радіочастотах нижче за 60 ГГц

Радіокліматична зона	$d_{\max}(1)$, км
A1	500
A2	375
B	900
C	1 200

Для радіочастот, вищих за 60 ГГц, максимальну координаційну відстань $d_{\max}(1)$ для відсотка часу ($p\%$), що цікавить, розраховують за формулою:

$$d_{\max}(1) = 80 - 10 \cdot \lg\left(\frac{p}{50}\right). \quad (5)$$

Для змішаних трас необхідна координаційна відстань може містити одну чи кілька ділянок зон A1, A2, B, C. Сумарна відстань для трас, що проходять (для прикладу, дві сухопутні зони A1 і A2), не повинна перевищувати 500 км, а для змішаних трас не повинна перевищувати найбільшої величини $d_{\max}(1)$, зазначеної в таблиці 1 цього додатка.

3. До формул для розрахунку втрат розповсюдження на трасах виду (1) і виду (2) входить величина $P_r(p)$, що означає допустимий рівень випромінювання (дБВт) радіозавод в еталонній ширині смуги радіочастот, який повинен перевищуватися не більше ніж в $p\%$ часу на виході приймальної антени станції, що зазнає впливу завод, коли випромінювання завод виходить з одного джерела. Допустимий рівень випромінювання завод розраховують за формулою:

$$P_r(p) = 10 \cdot \lg(k \cdot T_e \cdot B) + N_L + 10 \cdot \lg\left(10^{\frac{M_s}{10}} - 1\right) - W, \quad (6)$$

де: k — постійна Больцмана, дорівнює $1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К;

T_e — температура теплового шуму приймальної системи на виході приймальної антени, К;

N_L — складова потужності шуму на лінії, дБ. Цей коефіцієнт у разі відсутності записів у таблицях 7 – 9 доповнення 7 до додатка 7 до РР, складає 1 дБ для ліній ФСС та 0 дБ для наземних ліній;

B — еталонна ширина смуги приймальної системи, в якій необхідно усереднювати потужність випромінювання, яке створює радіозавади, Гц;

p — відсоток часу, протягом якого потужність радіозавади, створюваної одним джерелом, може перевищувати значення допустимої потужності радіозавад, оскільки малоімовірно, що джерела радіозавад будуть діяти одночасно, то значення $p=p_0/n$;

p_0 — відсоток часу, протягом якого сумарна потужність радіозавад від усіх джерел може перевищувати граничну величину;

n — кількість рівноможливих джерел некорельованих радіозавад, яка еквівалентно рівна шуму для малих відсотків часу;

M_s — запас по характеристиках лінії. Коефіцієнт M_s відображає збільшення шуму в умовах чистого неба з метою вирівнювання допустимої потужності радіозавад;

W — коефіцієнт еквівалентності теплового шуму для випромінювання в еталонній смузі радіочастот, що заважає. Цей коефіцієнт має позитивне значення, коли випромінювання, яке створює завади, буде призводити до більшого погіршення в роботі системи ніж тепловий шум. У разі використання цифрового корисного сигналу значення W , як правило, дорівнює чи менше 0 дБ незалежно від характеристик сигналу, який створює радіозавади.

Усі необхідні параметри для розрахунку значення $P_r(p)$ формулою 6 цього додатка наведені в таблицях 7 – 9 доповнення 7 до додатка 7 до РР.

Шумову температуру приймальної системи (T_e), що входить у формулу 6 для випадку, якщо цього неіає в таблиці 7 доповнення 7 до додатка 7 до РР, розраховують за формулою:

$$T_e = T_a + (l_{tl} - 1) \cdot 290 + l_{tl} \cdot T_r, \quad (7)$$

де: T_a — шумова температура, створена антеною, К;

l_{tl} — чисельне значення втрат у лінії передавання (для прикладу, у хвилеводі) між антеною і високочастотною частиною приймача;

T_r — шумова температура високочастотної частини приймача, включаючи всі послідовні каскади до входу високочастотної частини приймача.

Для приймачів радіорелейних станцій (у разі відсутності даних про втрати приймальної земної станції) величина $l_{tl}=1,0$.

Під час визначення координатних контурів між двома земними станціями, що працюють у протилежному напрямку передавання, варто використовувати значення шумової температури приймальної системи земної

станції, наведене в таблиці 2 цього додатка (якщо його значення немає у таблиці 9 доповнення 7 до додатка 7 до РР). Це необхідно тому, що в розрахунках найчастіше замість параметрів приймальної наземної станції використовують параметри приймальної земної станції. Таблиця 2 цього додатка складена на підставі таблиці 6 доповнення 7 до додатка 7 до РР.

Таблиця 2

Шумова температура приймальної земної станції
у разі двонаправленої роботи

Діапазон частот, ГГц	T_e , К
$f < 1,0$	75
$1,0 < f < 17$	150
$f \geq 17$	300

У деяких випадках Адміністрації зв'язку можуть вважати, що для їхніх приймальних земних станцій може бути виправдане відхилення від наведених у вищезгаданих таблицях значень, які стосуються земної станції.

Для конкретних радіосистем значення таких параметрів, як ширина смуги B , чи у разі систем із присвоєнням за запитом відсотки часу p і p_0 , можливо, будуть мати розбіжності порівняно з величинами, наведеними в таблиці 8 доповнення 7 до додатка 7 до РР.

4. Для трас розповсюдження радіозавад виду (1) необхідна координатна відстань, яка залежить від характеристик фізичного обрію навколо земної станції, що характеризується відстанню до обрію d_h і кутом місця обрію ε_h . Кут місця обрію ε_h визначено як кут (у градусах), який вимірюють із центру антени земної станції між горизонтальною площиною і променем, який зачіпає фізичний обрій у розглянутому напрямку. Кут місця ε_h має позитивне значення в тих випадках, коли фізичний обрій розташований вище горизонтальної площини, і негативне значення в тих випадках, коли він розташований нижче площини.

Кут місця обрію і відстань до обрію визначають для всіх азимутальних напрямків навколо земної станції. На практиці визнано достатнім, що розрахунки можна проводити зі збільшенням азимутального кута на 5° . Однак необхідно вжити заходів для виявлення й урахування всіх мінімальних кутів місця обрію, що можуть мати місце в проміжках між розглянутими азимутами зі збільшенням 5° .

Відстань до обрію визначають так:

$d_h = 0,5$ км, якщо інформації про відстань до обрію немає або $d_h < 0,5$ км;

d_h дорівнює фактичній відстані до обрію, якщо $0,5$ км $< d_h < 5$ км;

$d_h = 5,0$ км, якщо ця відстань більше ніж 5,0 км.

Для визначення необхідної відстані на трасі розповсюдження завади виду (1) слід розрізняти ефекти розповсюдження радіохвиль, які мають відношення до місцевих умов розміщення земної станції і можуть визначатися, як правило, прилеглими пагорбами або горами для всіх чи тільки для деяких азимутальних напрямків, а також ефекти розповсюдження

радіохвиль на інших ділянках траси. Тому розглядають два варіанти ослаблення втрат на трасі розповсюдження радіозавад виду (1) щодо кута місця $\varepsilon_h = 0^\circ$.

У першому варіанті земна станція має позитивний кут місця обрію (для конкретного азимута). У такому разі необхідно враховувати додаткові втрати за рахунок дифракційного розповсюдження в цьому горизонтальному напрямку (екранування рельєфом місцевості). Отже, ослаблення A_h позитивне і величина необхідних втрат передавання знижується відносно випадку, коли кут місця обрію дорівнює 0° .

У другому варіанті земна станція, яку координують, розташована вище площини обрію, має негативний (спадний) кут місця обрію для конкретного азимута. У цьому разі необхідно вжити заходів для додаткового захисту внаслідок того, що кутова довжина радіальної траси зменшується і, отже, втрати на трасі для цієї відстані будуть менші ніж втрати для випадку нульового кута місця. Цей ефект використовують при розрахунку екранування рельєфу місцевості. У результаті ослаблення A_h буде мати негативне значення, що збільшує величину необхідних втрат відносно випадку, коли кут місця обрію дорівнює 0° .

4.1. Діапазон між 100 МГц і 790 МГц

Модель розповсюдження для цього діапазону обмежена усередненим за рік відсотком часу $1\% < p < 50\%$.

Алгоритм розрахунку необхідної відстані на цьому етапі полягає в такому.

Спочатку розраховують величину ослаблення A_d (дБ) як функцію відстані до обрію (d_h) за рахунок екранування рельєфом місцевості для кожного робочого азимута на ділянці d_h :

$$A_d = 15 \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{0,5 - d_h}{5}\right) \right] \cdot \left[1 - \exp\left(-\varepsilon_h \cdot f^{\frac{1}{3}}\right) \right], \quad (8)$$

де: f — значення радіочастоти, ГГц.

Далі визначають повні втрати на трасі розповсюдження радіозавади внаслідок екранування місцевості на кожному азимуті щодо земної станції, використовуючи формулу:

$$A_h = \begin{cases} 20 \lg\left(1 + 4,5 \cdot \varepsilon_h \cdot f^{\frac{1}{2}}\right) + \varepsilon_h \cdot f^{\frac{1}{3}} + A_d, & \text{дБ при } \varepsilon_h \geq 0^\circ; \\ 3 \cdot \left[(f+1)^{\frac{1}{2}} - 0,0001 \cdot f - 1,0487\right] \varepsilon_h, & \text{дБ при } 0^\circ > \varepsilon_h \geq -0,5^\circ; \\ -1,5 \cdot \left[(f+1)^{\frac{1}{2}} - 0,0001 \cdot f - 1,0487\right], & \text{дБ при } \varepsilon_h < -0,5^\circ. \end{cases} \quad (9)$$

Значення A_h повинно бути обмежене в межах і його визначають за формулою:

$$-10 \leq A_d \leq (30 + \varepsilon_h). \quad (10)$$

Значення ε_h у формулах 8 — 10 цього додатка визначено в градусах.

Після цього на наступному етапі розраховують мінімально допустимі втрати для основного чи додаткового контура $L_1(p)$, а також для допоміжного контура $L_{1q}(p)$ за формулами:

$$L_1(p) = L_b(p) - A_h; \quad (11)$$

$$L_{1q}(p) = L_{bq}(p) - A_h; \quad (12)$$

$$L_{bq}(p) = L_b(p) + Q, \quad (13)$$

де: Q , дБ — величина рівня ослаблення допоміжного контура;

$L_b(p)$ — мінімально припустимі втрати передавання (дБ) у разі розповсюдження виду (1) протягом $p\%$ часу для основного чи додаткового контура.

Потім, починаючи з мінімальної координаційної відстані ($d_{\min}$), розрахованої за формулою 4 цього додатка, методом ітераційних циклів розраховують значення відстані d_i , яку шукають доти, поки не буде виконано умову:

$$L_2(p) \geq \begin{cases} L_1(p) \\ L_{1q}(p) \end{cases} \text{ чи } d_i \geq \begin{cases} d_{\max(1)}, \\ d_q. \end{cases} \quad (14)$$

де: d_q — необхідна відстань для допоміжного контура.

Оскільки розподіл радіокліматичних зон уздовж трас розповсюдження завади невідомий, то всі ділянки трас розглядають так, начебто вони потенційно можуть бути сухопутними і морськими ділянками траси. Тому проводять різні обчислення, по-перше, припускаючи, що вся траса сухопутна, а по-друге, припускаючи, що вся траса морська. Потім проводять нелінійну інтерполяцію, результат якої залежить від реального сполучення втрат на сухопутних і морських ділянках на відстані d_i . У випадках, коли реальна траса включає ділянки як теплих морських, так і холодних морських зон, усі морські ділянки для цієї траси прокладають як для теплого моря.

Суть методу ітераційних циклів розрахунку зводиться до такого.

На початку кожної ітерації обчислюють поточну відстань для $i=0, 1, 2$, тощо за формулою:

$$d_i = d_{\min} + i \cdot s. \quad (15)$$

При цьому враховується той факт, що параметри наземних станцій, наведені в таблиці 7 додатка 7 до РР, залежать від смуги радіочастот. Тому для урахування найгірших випадків прогнозування втрат і геометрії траси розповсюдження вводять так званий “коригувальний чинник” (C_i), який залежно від діапазону радіочастот розраховують за формулою:

$$C_i = \begin{cases} Z(f) \cdot (d_i - d_{\min}), \text{ дБ для основного контура} \\ 0, \text{ дБ для допоміжного контура} \end{cases}, \quad (16)$$

де: i — крок ітераційного циклу в розрахунку координаційної відстані;

$$Z(f) = \frac{X(f)}{375 - d_{\min}}, \text{ дБ/км}; \quad (17)$$

$$X(f) = \begin{cases} 0 & \text{для } f \leq 0,4 \text{ ГГц} \\ 3,3833 \cdot X \cdot (\lg f + 0,3989) & \text{для } 0,4 < f \leq 0,79 \text{ ГГц} \\ X & \text{для } 0,79 \text{ ГГц} < f \leq 4,2 \text{ ГГц} \\ -0,8659 \cdot X \cdot (\lg f - 1,7781) & \text{для } 4,2 < f \leq 60 \text{ ГГц} \\ 0 & \text{для } f > 60 \text{ ГГц} \end{cases}, \text{ дБ.} \quad (18)$$

При цьому $X=15$ дБ для передавачів земних станцій і $X=25$ дБ для приймачів наземних станцій.

Для варіанта визначення координаційного контура у разі передавання в двох напрямках коригувальний чинник $Z(f)=0$.

Потім розраховують втрати $L_{bl}(p)$, виходячи з припущення, що траса розповсюдження є цілком сухопутною (зона А1 чи А2), за формулою:

$$L_{bl}(p) = 142,8 + 20 \cdot \lg f + 10 \cdot \lg p + 0,1 \cdot d_i + C_i. \quad (19)$$

Далі розраховують втрати $L_{bs}(p)$, виходячи з припущення, що траса розповсюдження радіозавади цілком розташована в холодному морі (зона В), за формулою 20 цього додатка, чи цілком розташована у теплому морі (зона С), за формулою 21 цього додатка:

для зони В:

$$L_{bs}(p_1) = 49,9 \cdot \lg(d_i + 1840 \cdot f^{1,76}) + 1,195 \cdot f^{0,393} \cdot (\lg p)^{1,38} \cdot d_i^{0,597} + (0,01 \cdot d_i - 70) \cdot (f - 0,1581) + (0,02 - 2 \times 10^{-5} \cdot p^2) \cdot d_i + 9,72 \times 10^{-9} \cdot d_i^2 \cdot p^2 + 20,2, \quad (20)$$

для зони С:

$$L_{bs}(p_1) = 49,343 \cdot \lg(d_i + 1840 \cdot f^{1,58}) + 1,266 \cdot (\lg p)^{(0,468+2,598f)} \cdot d_i^{0,453} + (0,037 \cdot d_i - 70) \cdot (f - 0,1581) + 1,95 \times 10^{-10} \cdot d_i^2 \cdot p^3 + 20,2. \quad (21)$$

Прогнозовані втрати на трасі для необхідної відстані визначають за формулою:

$$L_2(p) = L_{bs}(p) + \left[1 - \exp \left(-5,5 \left(\frac{d_{tm}}{d_i} \right)^{1,1} \right) \right] \cdot (L_{bl}(p) - L_{bs}(p)), \quad (22)$$

де: d_{tm} — найдовша ділянка відстані суші (сума внутрішніх і прибережних ділянок) уздовж розглянутої траси, км.

4.2. Діапазон радіочастот від 790 МГц до 60 ГГц

Для цієї смуги радіочастот модель розповсюдження обмежена усередненим за рік відсотком часу (p) у діапазоні від 0,0001% до 50%.

В обчисленні необхідної координаційної відстані також використовують метод ітераційних циклів розрахунку.

Спочатку розраховують значення ослаблення втрат на трасі розповсюдження радіозавад за рахунок екранування місцевості за формулами 8 – 22 цього додатка.

На наступних етапах обчислень координаційної відстані проводять облік загасання внаслідок поглинання в газах та ефекту хвилеводного розповсюдження і тропосферного розсіювання.

Під час розрахунку погонного загасання внаслідок ослаблення в газах атмосфери спочатку обчислюють ослаблення (γ_0 , дБ/км) в сухому повітряному просторі за формулою:

$$\gamma_0 = \begin{cases} \left[7,19 \times 10^{-3} + \frac{6,09}{f^2 + 0,227} + \frac{4,81}{(f - 57)^2 + 1,50} \right] \cdot f^2 \times 10^{-3} & \text{для } f \leq 56,77 \text{ ГГц} \\ 10 & \text{для } f > 56,77 \text{ ГГц} \end{cases} \quad (23)$$

Погонне загасання, зумовлене поглинанням у водяній парі, задають у вигляді функції щільності водяної пари (ρ , г/м³) та розраховують за формулою:

$$\gamma_w(\rho) = \left(0,050 + 0,0021 \cdot \rho + \frac{3,6}{(f - 22,2)^2 + 8,5} \right) \cdot f^2 \cdot \rho \times 10^{-4}. \quad (24)$$

Погонне загасання, зумовлене водяною парою, для моделі тропосферного розповсюдження розраховують для щільності водяної пари, рівної $\rho = 3$ г/м³, за формулою:

$$\gamma_{wt} = \gamma_w(3,0). \quad (25)$$

Аналогічно розраховують погонне загасання, зумовлене водяною парою, для моделі хвилеводного розповсюдження радіохвиль для сухопутних трас розповсюдження зон А1 і А2, але тільки для щільності водяної пари рівної $\rho = 7,5$ г/м³, використовуючи формулу:

$$\gamma_{wdl} = \gamma_w(7,5). \quad (26)$$

Погонне загасання, обумовлене наявністю водяної пари в атмосфері, у разі використання моделі хвилеводного розповсюдження для морських трас розповсюдження в зонах В і С для щільності водяної пари $\rho = 10,0$ г/м³ розраховують за формулою:

$$\gamma_{wds} = \gamma_w(10,0). \quad (27)$$

Значення щільності водяної пари $\rho = 10,0$ г/м³ використовують для обох радіокліматичних зон В і С через відсутність даних щодо щільності водяної пари по всій земній кулі.

Далі визначають частотну залежність ослаблення для хвильоводного розповсюдження за формулою:

$$\gamma_d = 0,05 \cdot f^{\frac{1}{3}}. \quad (28)$$

Для моделі хвильоводного розповсюдження розраховують зменшення ослаблення для випадку прямого зв'язку в атмосферних хвильоводах над водяними поверхнями за формулою:

$$A_c = \frac{-6}{1+d_c}, \quad (29)$$

де: d_c — відстань від сухопутної земної станції до узбережжя в розглянутому азимутальному напрямку, км. За інших умов значення d_c дорівнює нулю.

Після цього розраховують мінімальні втрати (A_1), які повинні бути забезпечені в процесі ітераційних обчислень, і прогнозовані втрати на трасі хвильоводного розповсюдження для основного чи додаткового контура ($L_3(p)$), а також для допоміжного контура ($L_{3q}(p)$), використовуючи формули:

$$A_1 = 122,43 + 16,5 \lg f + A_h + A_c; \quad (30)$$

$$L_3(p) = L_b(p) - A_1; \quad (31)$$

$$L_{3q}(p) = L_{bq}(p) - A_1, \quad (32)$$

де: $L_b(p)$ і $L_{bq}(p)$ є мінімально необхідними втратами для відсотка часу p для основного чи додаткового контура або допоміжного контура. Їх розраховують за формулою 13 цього додатка.

Для моделі тропосферного розповсюдження розраховують втрати, зумовлені діапазоном радіочастот (L_f) і відбивальною здатністю поверхні моря в центрі траси (A_2) відповідно, використовуючи формули:

$$L_f = 25 \cdot \lg(f) - 2,5 \cdot \left[\lg\left(\frac{f}{2}\right) \right]^2, \quad (33)$$

$$A_2 = 187,36 + 10 \cdot \varepsilon_h + L_f - 0,15 \cdot N_0 - 10,1 \cdot \left[-\lg\left(\frac{p}{50}\right) \right]^{0,7}, \quad (34)$$

де:

$$N_0 = 330 + 62,6 \cdot \exp\left(-\left(\frac{\zeta-2}{32,7}\right)^2\right), \quad (35)$$

ζ — широта місця розташування земної станції.

Аналогічно розраховують мінімально допустимі втрати для моделі тропосферного розсіювання як функцію відстані для основного чи додаткового контура ($L_4(p)$) і для допоміжного контура ($L_{4q}(p)$) відповідно за формулами:

$$L_4(p) = L_b(p) - A_2; \quad (36)$$

$$L_{4q}(p) = L_{bq}(p) - A_2. \quad (37)$$

У процесі ітераційних обчислень координатної відстані для трас розповсюдження в атмосферних газах спочатку визначають поточне значення відстані (d_i) для значень $i=1, 2$, і т.і., а потім розраховують погонне загасання (γ_g), зумовлене поглинанням у газах, за формулами:

$$d_i = d_{\min} + i \cdot s; \quad (38)$$

$$\gamma_g = \gamma_0 + \gamma_{wdl} \left(\frac{d_t}{d_i} \right) + \gamma_{wds} \cdot \left(1 - \frac{d_t}{d_i} \right), \quad (39)$$

де: d_t — поточне значення сукупної довжини сухопутної траси (зона А1+зона А2) у межах поточної ділянки траси, км.

Далі розраховують параметри τ , μ_1 , σ , μ_2 , μ_4 , що залежать від зони, використовуючи формулу:

$$\tau = 1 - \exp(-(4,12 \times 10^{-4} \cdot (d_{lm})^{2,41})), \quad (40)$$

де: d_{lm} — найбільший відрізок безперервної внутрішньої сухопутної ділянки уздовж траси розповсюдження, яку розглядають, км.

$$\mu_1 = \left[\frac{-d_{lm}}{10^{16-6,6\tau}} + [10^{-(0,496+0,354\tau)}]^{-5} \right]^{0,2}, \quad (41)$$

де: d_{lm} — найбільший відрізок безперервної сухопутної ділянки (сума внутрішніх і прибережних ділянок) зона А1+зона А2 вздовж траси розповсюдження, км. Значення μ_1 повинне бути обмежене ($\mu_1 \leq 1$).

$$\sigma = -0,6 - 8,5 \times 10^{-9} \cdot d_i^{3,1} \cdot \tau. \quad (42)$$

Значення σ також повинне бути обмежене ($\sigma \geq -3,4$).

$$\mu_2 = (2,48 \times 10^{-4} \cdot d_i^2)^\sigma, \quad (43)$$

Значення μ_2 повинно бути обмежене ($\mu_2 \leq 1$).

$$\mu_4 = \begin{cases} 10^{(-0,935+0,0176\zeta_r) \cdot \lg \mu_1} & \text{при } \zeta_r \leq 70^\circ \\ 10^{0,3 \cdot \lg \mu_1} & \text{при } \zeta_r > 70^\circ \end{cases}, \quad (44)$$

де значення ζ_r розраховують за формулою 3 цього додатка.

Після цього розраховують параметр (β), що визначає зниження ефекту хвилеводного розповсюдження залежно від відстані, і пов'язаний з ним параметр (Γ_1). Обидва параметри використовують для визначення часової залежності втрат на трасі:

$$\beta = \beta_e \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_4, \quad (45)$$

де значення β_e розраховують відповідно до формули 2 цього додатка;

$$\Gamma_1 = \frac{1,076}{(2,0058 - \lg \beta)^{1,012}} \cdot \exp(-(9,51 - 4,8 \cdot \lg \beta + 0,198 \cdot (\lg \beta)^2) \times 10^{-6} \cdot d_i^{1,13}). \quad (46)$$

Також додатково до цього визначають поправочний коефіцієнт (C_{2i} , дБ) (“коригувальний чинник” — формула 16 цього додатка) за формулою:

$$C_{2i} = \begin{cases} Z(f) \cdot (d_i - d_{\min}) \cdot \tau, & \text{дБ, для основного або додаткового контура} \\ 0, & \text{дБ для допоміжного контура} \end{cases}, \quad (47)$$

де $Z(f)$ обчислюють з використанням формули 17 цього додатка. На відстанях, більших за 375 км, варто використовувати поправочний коефіцієнт C_{2i} , розрахований за формулою 47 цього додатка, для відстані 375 км.

Далі розраховують мінімально допустимі втрати на трасі розповсюдження радіозавади для моделей хвильового і тропосферного розповсюдження відповідно для основного чи додаткового контура, використовуючи формули:

$$L_5(p) = (\gamma_d + \gamma_g) \cdot d_i + (1,2 + 3,7 \times 10^{-3} \cdot d_i) \cdot \lg\left(\frac{p}{\beta}\right) + 12 \cdot \left(\frac{p}{\beta}\right)^{r_1} + C_{2i}; \quad (48)$$

$$L_6(p) = 20 \cdot \lg(d_i) + 5,73 \times 10^{-4} \cdot (112 - 15 \cdot \cos(2 \cdot \zeta)) \cdot d_i + (\gamma_0 + \gamma_{wt}) \cdot d_i + C_{2i}. \quad (49)$$

У визначенні координаційних відстаней для допоміжних контурів значення параметра $C_{2i}=0$ дБ.

Аналогічно з попереднім розділом процес ітераційних обчислень продовжують доти, поки не буде виконана яка-небудь з нижченаведених умов:

$$\begin{cases} L_5(p) \geq L_3(p) \text{ и } L_6(p) \geq L_4(p) & \text{для основного або додаткового контура} \\ L_5(p) \geq L_{3q}(p) \text{ и } L_6(p) \geq L_{4q}(p) & \text{для допоміжного контура} \end{cases}, \quad (50)$$

чи

$$d_i = \begin{cases} d_{\max 1} & \text{для основного або додаткового контура} \\ d_1 & \text{для допоміжного контура} \end{cases}. \quad (51)$$

4.3. Діапазон радіочастот між 60 ГГц і 105 ГГц

Для цієї смуги радіочастот модель розповсюдження справедлива в діапазоні від 0,001 % до 50 % усередненого протягом року відсотка часу.

Під час обчислення необхідної координаційної відстані для моделі розповсюдження виду (1) також використовують метод ітераційних циклів. При цьому спочатку визначають погонне загасання (γ_{om}) у сухому повітрі, використовуючи формулу:

$$\gamma_{om} = \begin{cases} \left[2 \times 10^{-4} (1 - 1,2 \times 10^{-5} \cdot f^{1,5}) + \frac{4}{(f - 63)^2 + 0,936} + \frac{0,28}{(f - 118,75)^2 + 1,771} \right] \cdot f^2 \times \\ \times 6,24 \times 10^{-4}, \text{ дБ, для значень } f > 63,26 \text{ ГГц} \\ 10 \text{ дБ, для значень } f \leq 63,26 \text{ ГГц} \end{cases}. \quad (52)$$

Потім за формулою 53 цього додатка визначають погонне загасання в атмосфері для щільності водяної пари 3 г/м³:

$$\gamma_{wm} = (0,039 + 7,7 \times 10^{-4} \cdot f^{0,5}) \cdot f^2 \cdot 2,369 \times 10^{-4}. \quad (53)$$

Повну оцінку втрат за рахунок поглинання радіохвиль у газах атмосфери розраховують з використанням формули:

$$\gamma_{gm} = \gamma_{om} + \gamma_{wm}. \quad (54)$$

Для заданої частоти і конкретного значення величини втрат за рахунок екранування місцевості (A_h), розрахованого з використанням формули 9 цього додатка, обчислюють мінімально допустимі втрати за формулою:

$$L_7(p) = 92,5 + 20 \cdot \lg(f) + A_h. \quad (55)$$

Мінімально допустимі втрати для основного чи додаткового контура розраховують за формулою:

$$L_8(p) = L_b(p) - L_7(p) \quad (56)$$

Мінімально допустимі втрати для допоміжного контура розраховують за формулою:

$$L_{8q}(p) = L_{bq}(p) - L_7. \quad (57)$$

В ітераційних обчисленнях координатної відстані на початку ітераційного циклу визначають поточне значення відстані для значень кроків $i=1, 2$ тощо за формулою:

$$d_i = d_{\min} + i \cdot s. \quad (58)$$

Потім визначають втрати на трасі розповсюдження радіозавади як функцію поточної відстані за формулою:

$$L_9(p) = \gamma_{gm} \cdot d_i + 20 \cdot \lg(d_i) + 2,6 \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{-d_i}{10}\right) \right] \cdot \lg\left(\frac{p}{50}\right). \quad (59)$$

Для радіочастот, вищих за 60 ГГц, поправочний коефіцієнт $C_i=0$ дБ.

Ітераційний процес обчислень продовжують доти, поки не буде виконана яка-небудь із наведених нижче умов:

$$L_9(p) \geq \begin{cases} L_8(p) & \text{для основного або додаткового контура} \\ L_{8q}(p) & \text{для допоміжного контура} \end{cases}, \quad (60)$$

чи

$$d_i \geq \begin{cases} d_{\max} & \text{для основного або додаткового контура} \\ d_1 & \text{для допоміжного контура} \end{cases}, \quad (61)$$

де: d_1 —поточне значення відстані на останній ітерації.

Таким чином, використовуючи формули 1 — 61 цього додатка, розраховують мінімально допустимі втрати на трасі розповсюдження радіозавад виду (1), на основі яких визначають координатну відстань щодо місця розташування земної станції без урахування розсіювання радіохвиль на гідрометеорах.

5. Координатну відстань для трас розповсюдження радіозавад виду (2) визначають так.

5.1. Втрати на трасі розповсюдження радіозавад ($L_r(p)$, дБ) виду (2) є монотонною функцією інтенсивності опадів ($R(p)$, мм/год), яка залежить від відстані гідрометеорного розсіювання (r_i , км). Ця модель справедлива для середньорічного відсотка часу (p %) у діапазоні від 0,001% до 10,0%.

Алгоритм розрахунку координаційної відстані для цього виду розповсюдження радіозавад полягає в такому:

розраховують максимально можливу координаційну відстань ($d_{\max(2)}$) для трас розповсюдження радіозавад виду (2) (мінімальна координаційна відстань для трас розповсюдження радіозавад як виду (1), так і для виду (2) є однаковою і її розраховують відповідно до формул 1 — 4 цього додатка);

визначають величину $R(p)$ для відповідної кліматичної зони від А до Q;

використовуючи метод ітераційних обчислень, визначають втрати на трасі розповсюдження радіозавад $L_r(p)$, починаючи з мінімальної координаційної відстані $d_{\min}$, з кроком ітерації $s = 1$ км. Значення r_i , яке обчислюють, може бути визнано необхідною координаційною відстанню в тому разі, коли відповідне $L_r(p)$ значення буде рівним чи перевищить мінімально допустимі втрати у разі використання моделі розповсюдження виду (2). Отже, ітераційний процес закінчується, коли виконана будь-яка з умов, наведених нижче:

$$L_r(p) \geq L(p), \quad (62)$$

чи

$$r_i \geq d_{\max(2)}. \quad (63)$$

5.2. Максимальна координаційна відстань, яку треба використовувати в ітераційних обчисленнях координаційної відстані для моделі розповсюдження виду (2), залежить від широти місця розташування земної станції і її визначають за формулою:

$$d_{\max} = \sqrt{17000 \cdot (h_R + 3)}, \quad (64)$$

де: h_R — висота дощу над рівнем Землі для Північної Америки та Європи на захід від 60° західної довготи, км. Її визначають за формулою:

$$h_R = 3,2 - 0,075 \cdot (\zeta - 35) \text{ для } 35 \leq \zeta \leq 70, \quad (65)$$

де значення ζ визначає широту місця розташування координованої земної станції. Для всіх інших зон світу h_R визначають за формулою:

$$h_R = \begin{cases} 5 - 0,075 \cdot (\zeta - 23) & \text{при } \zeta > 23 & \text{для Північної півкулі} \\ 5 & \text{при } 0 \leq \zeta \leq 23 & \text{для Північної півкулі} \\ 5 & \text{при } 0 \geq \zeta \geq -21 & \text{для Південної півкулі} \\ 5 + 0,066 \cdot (\zeta + 21) & \text{при } -71 \leq \zeta \leq -21 & \text{для Південної півкулі} \\ 0 & \text{при } \zeta < -71 & \text{для Південної півкулі} \end{cases} \quad (66)$$

5.3. Поверхня земної кулі розділена на дощові кліматичні зони від А до Q з різними характеристиками опадів, що у свою чергу потребує визначення

Продовження додатка 3
інтенсивності цих опадів ($R(p)$). Ці кліматичні зони наведено на рисунках
1 — 3 цього додатка.

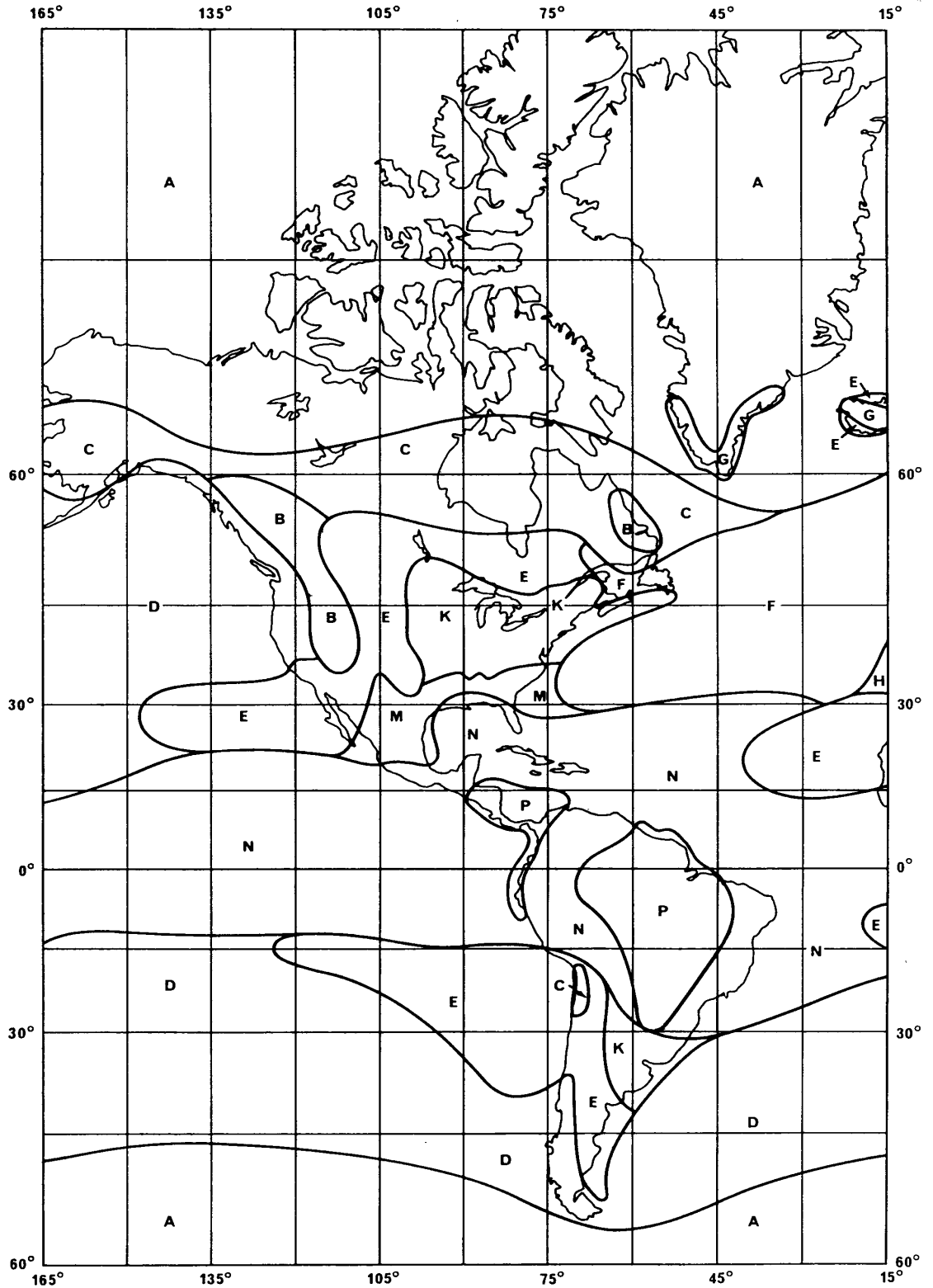


Рисунок 1 — Кліматичні дощові зони Америки

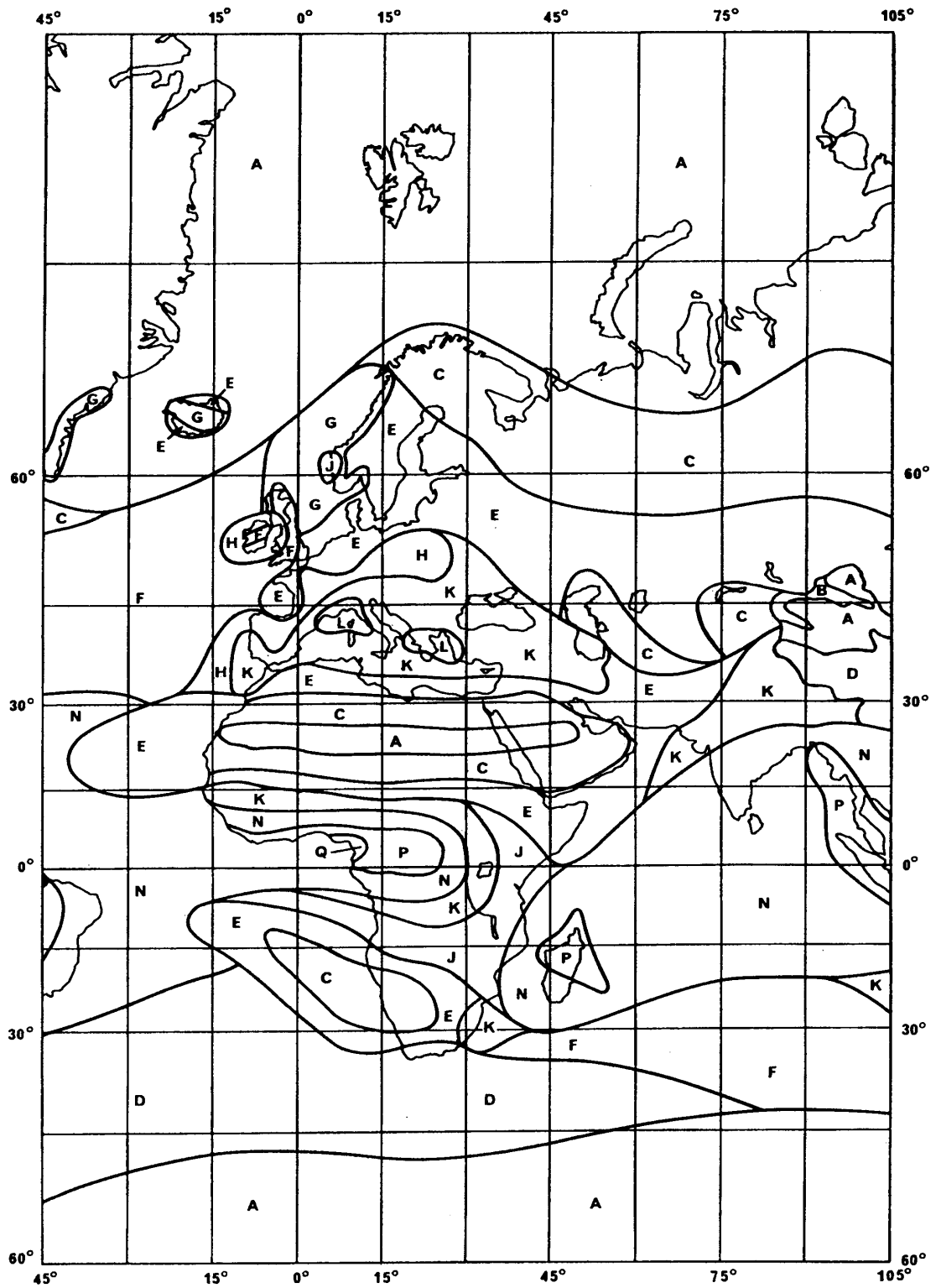


Рисунок 2 — Кліматичні дощові зони Європи та Африки

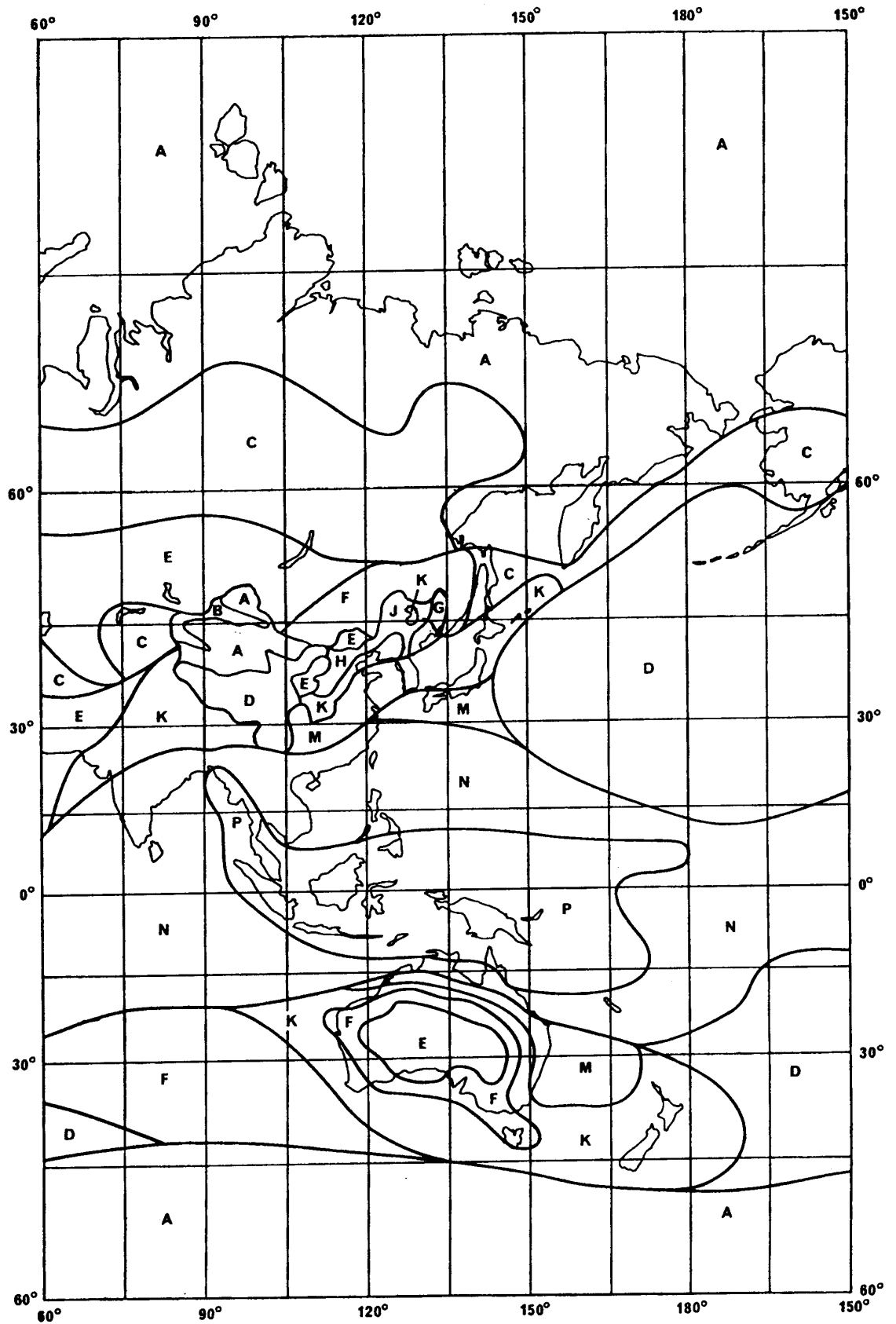


Рисунок 3 — Кліматичні дощові зони Азії та Океанії

Існує 2 способи визначення параметра $R(p)$: аналітичний і графічний.

У разі аналітичного способу визначення інтенсивності опадів використовують розрахункові формули для груп кліматичних зон:

для кліматичних зон А та В:

$$R(p) = 1,1 \cdot p^{-0,465} + 0,25 \cdot [\lg(p/0,001) \cdot \lg^3(0,3/p)] - [\lg(p/0,1) + 1,1]^{-2}; \quad (67)$$

для кліматичних зон С, D, Е:

$$R(p) = 2 \cdot p^{-0,466} + 0,5 \cdot [\lg(p/0,001) \cdot \lg^3(0,3/p)]; \quad (68)$$

для кліматичних зон F, G, H, J, K:

$$R(p) = 4,17 \cdot p^{-0,418} + 1,6 \cdot [\lg(p/0,001) \cdot \lg^3(0,3/p)]; \quad (69)$$

для кліматичних зон L, M:

$$R(p) = 4,9 \cdot p^{-0,48} + 6,5 \cdot [\lg(p/0,001) \cdot \lg^2(0,3/p)]; \quad (70)$$

для кліматичних зон N, P, Q:

$$R(p) = 15,6 \cdot (p^{-0,383} + [\lg(p/0,001) \cdot \lg^{1,5}(0,3/p)]). \quad (71)$$

У разі графічного способу визначення інтенсивності опадів використовують так звані об'єднані розподіли інтенсивності опадів, наведені на рисунку 4 цього додатка.

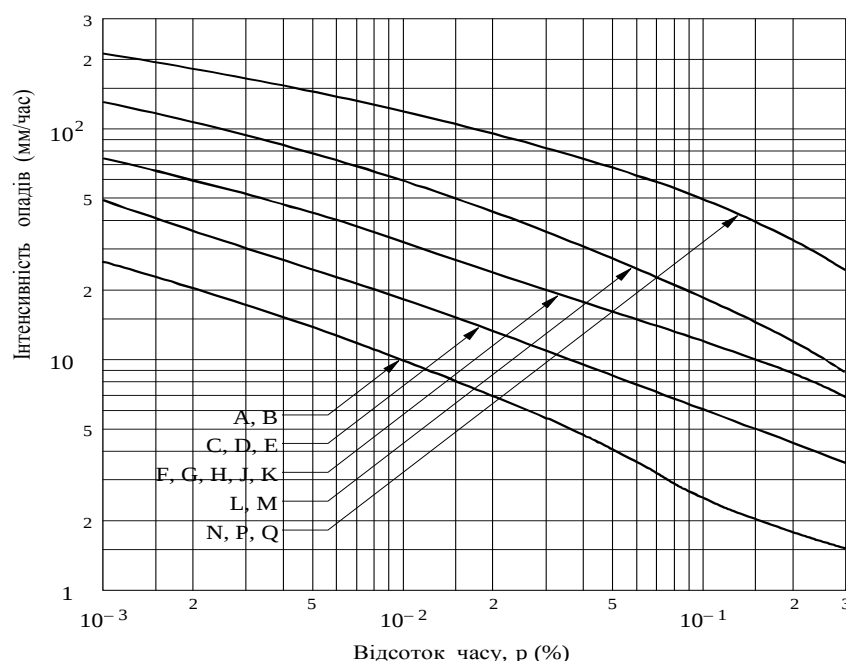


Рисунок 4 — Інтенсивність опадів у різних кліматичних зонах

Таким чином, щоб розрахувати значення параметра $R(p)$, необхідно спочатку визначити, в якій із кліматичних зон розташована земна станція, яку координують. Для значень відсотка часу $0,001\% < p < 0,3\%$ і відповідної

Продовження додатка 3
 кліматичної зони значення $R(p)$ визначають за формулами 67 — 71 цього додатка або з використанням рисунка 4 цього додатка.

Для значення відсотка часу $p \geq 0.3\%$ значення параметра $R(p)$ визначають за формулою:

$$R(p) = R(0,3\%) \left[\frac{\lg(p_c / p)}{\lg(p_c / 0,3)} \right], \quad (72)$$

де значення p_c є еталонним значенням відсотка часу, вище якого інтенсивність опадів $R(p)$ може бути обрана рівною нулю. Значення p_c беруть з таблиці 3 цього додатка.

Таблиця 3

Еталонні значення відсотка часу

Дощові кліматичні зони	$R(0,3\%)$, мм/год	$p_c(\%)$
A, B	1,5	2
C, D, E	3,0	3
F, G, H, J, K	7,0	5
L, M	9,0	7,5
N, P, Q	25,0	10

На наступному етапі обчислень координатної відстані для моделі розповсюдження радіозавади виду (2) визначають зумовлене дощем погонне загасання (γ_R), використовуючи формулу:

$$\gamma_R = k \cdot R^\alpha, \quad (73)$$

де величини параметрів k і α визначають відповідно до таблиці 4 цього додатка.

Таблиця 4

Значення k та α , як функція радіочастоти для вертикальної поляризації

Частота, ГГц	k	α
1	0,0000352	0,880
4	0,000591	1,075
6	0,00155	1,265
8	0,00395	1,31
10	0,00887	1,264
12	0,0168	1,20
14	0,029	1,15
18	0,055	1,09
20	0,0691	1,065
22,4	0,090	1,05
25	0,113	1,03
28	0,150	1,01
30	0,167	1,00
35	0,233	0,963
40	0,310	0,929
40,5	0,318	0,926

Величини параметрів k і α на радіочастотах, що відрізняються від наведених у таблиці 4 цього додатка, можна одержати методом інтерполяції з використанням логарифмічного масштабу для частоти, логарифмічного масштабу для параметра k і лінійного масштабу для параметра α .

Далі послідовно розраховують ефективний діаметр дощу (d_s , 74), ефективну передатну функцію при розсіюванні (R_{CV} , 75), додаткове ослаблення за межами загального об'єму (Γ_2 , формула 76 цього додатка) і погонне загасання (γ_{wr} , формула 77), зумовлене поглинанням водяної пари (у разі використання щільності водяної пари, рівної $7,5 \text{ г/м}^3$), використовуючи формули:

$$d_s = 3,5 \cdot R^{-0,08}, \quad (74)$$

$$R_{CV} = \frac{2,17}{\gamma_R \cdot d_s} \cdot \left(1 - 10^{\frac{-\gamma_R \cdot d_s}{5}} \right), \quad (75)$$

$$\Gamma_2 = 631 \cdot k \cdot R^{(\alpha-0,5)} \times 10^{-(R+1)^{0,19}}, \quad (76)$$

$$\gamma_{wr} = \left[0,06575 + \frac{3,6}{(f - 22,2)^2 + 8,5} \right] \cdot f^2 \cdot 7,5 \times 10^{-4} \quad (77)$$

Під час ітераційних обчислень, послідовно визначають такі параметри: втрати на трасі, що пролягає вище висоти дощу (L_{ar}), формула 78 цього додатка;

додаткове ослаблення для відхилення від закону Релея при розсіюванні (A_b), формула 79 цього додатка;

ефективна довжина траси розповсюдження при поглинанні енергії радіохвиль у кисні (d_0), формула 80 цього додатка;

ефективна довжина траси розповсюдження при поглинанні енергії радіохвиль у водяних парах (d_v), формула 81 цього додатка;

втрати на трасі розповсюдження радіозавади виду (2) ($L_r(p)$), формула 82 цього додатка, які потім в ітераційних обчисленнях порівнюють з мінімально необхідними втратами для визначення необхідної координаційної відстані:

$$L_{ar} = \begin{cases} 6,5 \cdot [6 \cdot (r_i - 50)^2 \times 10^{-5} - h_R] & \text{при } 6 \cdot ((r_i - 50)^2 \times 10^{-5}) > h_R \\ 0 & \text{при } 6 \cdot (r_i - 50)^2 \times 10^{-5} \leq h_R \end{cases}, \quad (78)$$

$$A_b = \begin{cases} 0,005 \cdot (f - 10)^{1,7} \cdot R^{0,4} & \text{при } 10 \text{ ГГц} < f < 40,5 \text{ ГГц} \\ 0 & \text{при } f \leq 10 \text{ ГГц або коли } L_{ar} \neq 0 \end{cases}, \quad (79)$$

$$d_0 = \begin{cases} 0,7 \cdot r_i + 32 & \text{при } r_i < 340 \text{ км} \\ 270 & \text{при } r_i \geq 340 \text{ км} \end{cases}, \quad (80)$$

$$d_v = \begin{cases} 0,7 \cdot r_i + 32 & \text{при } r_i < 240 \text{ км} \\ 200 & \text{при } r_i \geq 240 \text{ км} \end{cases}, \quad (81)$$

$$L_r = 168 + 20 \cdot \lg r_i - 20 \cdot \lg f - 13,2 \cdot \lg R - G_x + A_b - 10 \cdot \lg R_{CV} + \Gamma_2 + L_{ar} + \gamma_o \cdot d_0 + \gamma_{wt} \cdot d_v, \quad (82)$$

де значення параметра $\gamma_{\text{про}}$ визначають відповідно до формули 23 цього додатка, а коефіцієнт підсилення антени наземної станції визначають за таблицею 7 чи 8 доповнення 7 до додатка 7 до РР.

6. Коефіцієнт підсилення антени земної станції у разі роботи з геостационарною космічною станцією розраховують так.

6.1. Спочатку визначають кутове рознесення між віссю основного пелюстка антени земної станції і напрямком до обрію, який розглядають.

Коефіцієнт підсилення антени земної станції в напрямку фізичного обрію навколо земної станції залежить від кутового рознесення ($\varphi(\alpha)$) між віссю основного пелюстка ДСА і напрямком до обрію, який розглядають.

Коли земну станцію використовують для передавання на космічну станцію на мало нахилений орбіті, варто розглянути всі можливі напрямки орієнтації осі головного променя антени.

Для координації земної станції по кожному азимуту потрібно знати значення мінімально можливого кутового рознесення ($\varphi(\alpha)$), яке утвориться під час роботи космічної станції.

Коли геостационарна космічна станція перебуває поблизу своєї номінальної орбітальної позиції, кут нахилу осі головного пелюстка ДСА земної станції (ε_s) і азимутальний кут (α_s) у напрямку космічної станції від земної станції на широті (ζ) однозначно пов'язані.

Визначаючи кут рознесення $\varphi(\alpha)$, варто враховувати два варіанти розташування космічної станції на орбіті:

одиначна космічна станція, нахил орбіти дорівнює нулю (варіант 1);

одиначна космічна станція на мало нахилений орбіті (варіант 2);

Вибір визначають за наявністю невеликого нахилу орбіти космічної станції чи його відсутністю. Однак для всіх цих випадків можна використовувати такі формули для визначення параметра $\varphi(\alpha)$:

$$\varphi(\alpha, i, \delta) = \arccos[\cos \varepsilon_h(\alpha) \cdot \cos \varepsilon_s(i, \delta) \cdot \cos(\alpha - \alpha_s(i, \delta)) + \sin \varepsilon_h(\alpha) \cdot \sin \varepsilon_s(i, \delta)], \quad (83)$$

де: $\varphi(\alpha, i, \delta)$ — кут між основним пелюстком ДСА земної станції і лінією обрію в напрямку азимута (α), який розглядають, коли основний пелюсток ДСА земної станції спрямований на космічну станцію з підсупутниковою точкою на широті та різниці довготи δ ;

α — азимут напрямку, який розглядають;

δ — різниця довгот земної станції і космічної станції;

i — широта підсупутникової точки (позитивна до півночі і негативна до півдня);

ε_h — кут місця обрію на азимуті α , який розглядають;

$\alpha_s(i, \delta)$ — азимут космічної станції, видимої із земної станції (вираховують за формулами 84 — 86 цього додатка);

$\varepsilon_s(i, \delta)$ — кут місця космічної станції, видимої із земної станції (вираховують за формулою 87 цього додатка);

$$\alpha_s(i, \delta) = \alpha_{os}(i, \delta), \quad (84)$$

для космічних станцій на схід від земної станції ($\delta \geq 0$);

$$\alpha_s(i, \delta) = 360^\circ - \alpha_{os}(i, \delta), \quad (85)$$

для космічних станцій на захід від земної станції;

$$\alpha_{os}(i, \delta) = \arccos \left[\frac{\sin i - \cos \psi_s(i, \delta) \cdot \sin \zeta}{\sin \psi_s(i, \delta) \cdot \cos \zeta} \right], \quad (86)$$

$$\varepsilon_s(i, \delta) = \arcsin \left[\frac{K \cdot \cos \psi_s(i, \delta) - 1}{1 + K^2 - 2 \cdot K \cdot \cos \psi_s(i, \delta)^{1/2}} \right], \quad (87)$$

де: $\psi_s(i, \delta)$ — дуга великого кола між підсупутниковою точкою і земною станцією, яку визначають за формулою:

$$\psi_s(i, \delta) = \arccos(\sin \zeta \cdot \sin i + \cos \zeta \cdot \cos i \cdot \cos \delta), \quad (88)$$

K — відношення “радіус орбіти/радіус Землі”, що для геостаціонарної орбіти обирають рівним 6,62.

Усі значення кутових величин, наведені у формулах 84 — 88 цього додатка, визначені в градусах.

Для першого варіанта розташування космічної станції, що працює на ненахиленій орбіті в орбітальній позиції з номінальною різницею по довготі δ_0 , з метою визначення величини $\varphi(\alpha)$ для кожного азимута можна використовувати формули 84 — 88 цього додатка без змін зі значенням параметра $i=0$:

$$\varphi(\alpha) = \varphi(\alpha, 0, \delta_0). \quad (89)$$

Для другого варіанта розташування космічної станції на орбіті, що працює на ділянці дуги мало нахиленої геостаціонарної орбіти з номінальною різницею по довготі δ_0 , необхідно враховувати максимальне нахилення орбіти i_s протягом терміну активного існування супутника. Тому формули 83 — 88 цього додатка можна використовувати для визначення максимального позаосьового кута для кожної з чотирьох дуг у просторі “азимут/кут” місця, що пов’язує траєкторію космічної станції по азимуту і куту місця. Обмежувальні дуги відповідають максимальній і мінімальній широтам підсупутникових точок і крайніх значень різниці по довготі між земною і космічною станціями, коли космічна станція працює на максимальному нахиленні. Максимальні позаосьові кути у формулах 90 — 95 цього додатка можна визначити за допомогою збільшень обмежуючого контура. Дискретність зміни величин i чи δ повинна бути між $0,5^\circ$ і $1,0^\circ$ і в розрахунки необхідно включити кінцеві точки відповідних відстаней. При

цьому профіль обрїю $\varepsilon_h(\alpha)$, який використовують для визначення параметра $\varphi(\alpha)$, необхідно задавати у разі збільшення азимутального кута (α) з дискретністю не більше ніж 5° .

У цьому разі параметр $\varphi(\alpha)$ розраховують за формулою:

$$\varphi(\alpha) = \min_{n=1..4} \varphi_n(\alpha). \quad (90)$$

Для значень різниці довготи земної станції та космічної станції (δ) і широти підсупутникової точки (i) використовують такі формули:

$$\varphi_1(\alpha) = \min_{\delta_0 - \delta_s \leq \delta \leq \delta_0 + \delta_s} \varphi(\alpha, -i_s, \delta), \quad (91)$$

$$\varphi_2(\alpha) = \min_{\delta_0 - \delta_s \leq \delta \leq \delta_0 + \delta_s} \varphi(\alpha, i_s, \delta), \quad (92)$$

$$\varphi_3(\alpha) = \min_{-i_s \leq i \leq i_s} \varphi(\alpha, i, \delta_0 - \delta_s), \quad (93)$$

$$\varphi_4(\alpha) = \min_{-i_s \leq i \leq i_s} \varphi(\alpha, i, \delta_0 + \delta_s), \quad (94)$$

$$\delta_s = (i_s / 15)^2, \quad (95)$$

де: i_s — максимальний робочий кут нахилання орбіти супутника;

δ_s — максимальна зміна довготи від номінальної величини довготи підсупутникової точки супутника на орбіті з нахилом i_s .

6.2. Потім визначають коефіцієнт підсилення антени земної станції. Коефіцієнт підсилення антени $G(\varphi)$ можна визначати як з використанням фактичної діаграми спрямованості антени, так і за допомогою аналітичного висловлювання, що забезпечує достатнє наближення. Так, у разі відношення діаметра антени (D) до довжини хвилі (λ) більшому чи рівному 35 необхідно використовувати формули:

$$G(\varphi) = \begin{cases} G_{amfx} - 2,5 \times 10^{-3} \cdot \left(\frac{D}{\lambda} \cdot \varphi \right)^2 & \text{для } 0^\circ < \varphi < \varphi_m \\ G_1 & \text{для } \varphi_v \leq \varphi < \varphi_r \\ 29 - 25 \cdot \lg \varphi & \text{для } \varphi_r \leq \varphi < 36^\circ \\ -10 & \text{для } 36^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{cases}, \quad (96)$$

де:

$$G_1 = \begin{cases} -1 + 15 \cdot \lg \left(\frac{D}{\lambda} \right) & \text{для } \frac{D}{\lambda} \geq 100 \\ -21 + 25 \cdot \lg \left(\frac{D}{\lambda} \right) & \text{для } 35 \leq \frac{D}{\lambda} < 100 \end{cases}; \quad (97)$$

$$\varphi_m = \frac{20 \cdot \lambda}{D} \sqrt{G_{amax} - G_1}; \quad (98)$$

$$\varphi_r = \begin{cases} 15,85 \cdot (D/\lambda)^{-0,6} & \text{для } \frac{D}{\lambda} \geq 100 \\ 100(\lambda/D) & \text{для } 35 \leq \frac{D}{\lambda} < 100 \end{cases}. \quad (99)$$

Якщо відношення (D/λ) невідомо, то його значення можна визначити за формулою:

$$20 \cdot \lg(D/\lambda) \approx G_{amax} - 7,7, \quad (100)$$

де: G_{amax} — максимальний коефіцієнт підсилення основного пелюстка ДСА;

G_1 — коефіцієнт підсилення першого бічного пелюстка ДСА.

6.3. Коефіцієнт підсилення антени в напрямку обрію для земних станцій, що працюють з космічними станціями, розташованими на негеостационарних орбітах, визначають так.

6.3.1. Визначення меж видимості супутників

У пункті 1 цього додатка зазначено, що для визначення координатної зони земної станції, яка оснащена антеною, що стежить, і працює з космічною станцією, що перебуває на негеостационарній орбіті, для розрахунку коефіцієнта підсилення антени земної станції в напрямку розглянутого обрію використовують так званий “метод інваріантного до часу коефіцієнта підсилення” (TIG).

Межі видимості угруповання супутників можуть бути визначені на основі даних про кут нахилу орбіти (i_s) найбільш нахиленого супутника і висоти найнижчого супутника в угрупованні. Для цього можуть розглядатися шість варіантів місця розташування земної станції щодо орбітального угруповання, які мають свої особливості в проведенні розрахунків дуги великого кола між земною станцією і точкою на поверхні Землі, розташованою безпосередньо під точкою на краю обвідної лінії орбітального угруповання ($\psi(\delta)$), азимута, який розраховують відносно земної станції в напрямку до точки на краю обвідної лінії орбітального угруповання ($\alpha_0(\delta)$) і кута місця земної станції стосовно точки на краю обвідної лінії орбітального угруповання ($\varepsilon_v(\delta)$).

Якщо супутники орбітального угруповання розташовані на кругових орбітах, для визначення коефіцієнта підсилення антени земної станції в розрахунках згаданих вище параметрів, що визначають межі видимості супутників для всіх варіантів, застосовують такі формули:

$$\psi(\delta) = \arccos(\sin \zeta_e \cdot \sin i_s + \cos \zeta_e \cdot \cos i_s \cdot \cos \delta), \quad (101)$$

$$\varepsilon_v(\delta) = \left[\frac{K_1 \cdot \cos \psi(\delta) - 1}{(1 + K_1^2 - 2 \cdot K_1 \cdot \cos \psi(\delta))^{1/2}} \right], \quad (102)$$

де: i_s — нахил орбіт супутників в угрупованні (може мати позитивне значення для $0^\circ < i_s \leq 90^\circ$);

ζ_e — абсолютне значення широти земної станції;

K_1 — відношення радіуса орбіти найнижчого супутника до радіуса Землі;

$\psi_m = \arccos(1/K)$;

δ — різниця довгот земної станції і точки на краю обвідної лінії орбітального угруповання;

$$\alpha_0(\delta) = \arccos \left[\frac{\sin i_s - \cos[\psi(\delta)] \cdot \sin \zeta_e}{\sin \psi(\delta) \cdot \cos \zeta_e} \right]. \quad (103)$$

Значення $\alpha(\delta) = \alpha_0(\delta)$ і $360^\circ - \alpha_0(\delta)$ використовують для розрахунку координатних зон земних станцій, розташованих на північ від екватора, $\alpha(\delta) = 180^\circ - \alpha_0(\delta)$ та $180^\circ + \alpha_0(\delta)$ — для земних станцій, розташованих на південь від екватора.

Для будь-якої широти на поверхні Землі значення азимута, для якого мінімальний кут місця супутника може бути більшим за 90° , відповідні кути місця визначають обчисленнями відповідно до таких випадків:

1) для значень параметра $\zeta_e \leq i_s - \psi_m$ супутник може бути видимим стосовно обрії для всіх азимутів відносно земної станції;

2) для значень параметра $(\zeta_e) i_s - \psi_m < \zeta_e \leq \arcsin(\sin i_s \cdot \cos \psi_m)$ азимутальні кути і кут місця обчислюють параметричним способом, вибираючи значення δ рівномірно розподіленим в інтервалі від 0 до δ_1 , використовуючи при цьому формули 101 — 103 цього додатка. З цією метою інтервал значень δ не повинен перевищувати 1° з урахуванням крайніх точок:

$$\delta_1 = \left[\frac{\cos \psi_m - \sin \zeta_e \cdot \sin i_s}{\cos \zeta_e \cdot \cos i_s} \right]. \quad (104)$$

Для кожного основного азимута ($\alpha_0(\delta)$), що не був включений у набір, мінімальний кут місця дорівнює нулю ($\varepsilon_v = 0$), за винятком азимутів, де використовують останній варіант (підпункт 6) підпункту 6.3.1 цього додатка);

3) значення параметра $\arcsin(\sin i_s \cdot \cos \psi_m) < \zeta_e \leq i_s$, і $\zeta_e \leq 180^\circ - \psi_m - i_s$ визначають також параметричним способом, використовуючи формули 101 — 103 цього додатка і визначаючи параметр δ з набору значень від 0 до δ_2 . При цьому інтервал між значеннями δ не повинен перевищувати величину 1° з урахуванням крайніх точок. Значення δ_2 визначають за формулою:

$$\delta_2 = 2 \cdot \arctg \left[\frac{\sqrt{\sin^2 \psi_m - \cos^2 i_s \cdot \sin^2 \delta_1}}{\sin \zeta_e \cdot \cos i_s \cdot \sin \delta_1} \right] - \delta_1; \quad (105)$$

4) для кожного основного азимута ($\alpha_0(\delta)$), що не був включений у набір, мінімальний кут місця дорівнює нулю ($\varepsilon_v = 0$), за винятком азимутів, перерахованих в останньому варіанті (підпункт 6) підпункту 6.3.1 цього додатка);

Для таких значень параметра ζ_e , як $i_s \leq \zeta_e < i_s + \psi_m$, а також $\zeta_e \leq 180^\circ - i_s - \psi_m$ мінімальний кут місця залежно від значень основного азимута α_0 визначають за формулою:

$$\varepsilon_v = \begin{cases} 90^\circ & \text{при } 0 \leq \alpha_0 < \alpha_2 \\ 0 & \text{при } \alpha_2 \leq \alpha_0 \leq 180^\circ \end{cases}, \quad (106)$$

де:

$$\alpha_2 = \arccos \left[\frac{\sin i_s - \cos \psi_m \cdot \sin \zeta_e}{\sin \psi_m \cdot \cos \zeta_e} \right]. \quad (107)$$

Мінімальний кут місця $\varepsilon_v = 90^\circ$ (формула 102 цього додатка) свідчить про те, що із цього місця не видно жодного супутника з кутом місця, меншим або рівним 90° для даних азимутальних напрямків. Крім того, у межах діапазонів основних азимутів, де мінімальний кут місця дорівнює нулю, може бути застосована ситуація останнього варіанта (підпункт 6) підпункту 6.3.1 цього додатка);

5) для значень широти (ζ_e) місця розташування земної станції $180^\circ - i_s - \psi_m \leq \zeta_e \leq 90^\circ$ супутник може бути видимим на обрії для всіх значень азимутів відносно земної станції для $\varepsilon_v = 0^\circ$;

6) для значень параметра $\zeta_e < \psi_m - i_s$ (ситуація може бути подібною до ситуації, описаної в підпунктах 2) — 4) підпункту 6.3.1 цього додатка) супутник буде видимим зі значеннями параметра ε_v вище мінімального кута місця ε_v для основних азимутів. Для цієї ситуації інші основні азимутальні кути і відповідні кути місця визначають аналітичним способом, використовуючи формули 101 — 103 цього додатка, вибиранням значень δ з рівномірно розподіленого ряду на інтервалі від 0 до δ_3 , і заміняючи значення i_s на $-i_s$. З цією метою інтервал між значеннями δ не повинен перевищувати 1° з урахуванням крайніх точок. Для визначення параметра δ_3 використовують формулу:

$$\delta_3 = \arccos \left[\frac{\cos \psi_m + \sin \zeta_e \cdot \sin i_s}{\cos \zeta_e \cdot \cos i_s} \right]. \quad (108)$$

Графік залежності кута місця обрію від розглянутих азимутів прийнято називати горизонтальним профілем кута місця (горизонтальним профілем земної станції).

6.3.2. Визначення максимального і мінімального коефіцієнтів підсилення антени земної станції в напрямку обрію

Коефіцієнт підсилення антени земної станції в напрямку обрію визначають, виходячи з профілю значень мінімального складеного кута місця (ε_c). Для будь-якого азимута мінімально складений кут місця дорівнює більшому з двох кутів — мінімальному куту видимості супутника (ε_v) для цього азимута і мінімальному куту нахилу антени земної станції (ε_{sys}).

Таким чином, для визначення максимального і мінімального значень коефіцієнта підсилення антени земної станції в напрямку обрію для кожного азимута, який розглядають, як правило, застосовують таку процедуру.

Для кожного азимутального напрямку максимальне значення коефіцієнта підсилення антени в напрямку обрію визначають з використанням мінімального значення кутового рознесення між горизонтальним профілем земної станції на цьому азимуті і профілем мінімального складеного кута нахилу антени земної станції.

Визначають кутове рознесення між профілем обрію для азимутального кута α і кута місця обрію ε_h з однієї сторони і точкою на профілі мінімального складеного кута місця ε_c для азимутального кута α_c - з другої сторони. При цьому треба використовувати формулу:

$$\varphi(\alpha, \alpha_c) = \arccos[\sin \varepsilon_h(\alpha) \cdot \sin(\varepsilon_c(\alpha_c)) + \cos \varepsilon_h(\alpha) \cdot \cos(\varepsilon_c(\alpha_c)) \cdot \cos(\alpha - \alpha_c)], \quad (109)$$

де: $\varepsilon_h(\alpha)$ — кут місця обрію для азимута α , який розглядають;

$\varepsilon_c(\alpha_c)$ — мінімальний складений кут місця для азимута α_c .

Потім визначають мінімальне значення кута рознесення $\varphi_{\min}$ для азимута, що розглядають, шляхом знаходження мінімального значення $\varphi(\alpha, \alpha_c)$ для будь-якого азимута α_c , а також максимальне значення $\varphi_c(\alpha, \alpha_c)$ для будь-якого азимута α_c ($\varphi_{\max}$). При цьому азимутальні кути (α) звичайно вибирають з кроком 5° . Однак для того, щоб точно визначити кут мінімального рознесення, значення мінімального складеного кута місця ε_c треба визначати з кроком 1° чи меншим для кожного азимутального кута α_c .

Отримані значення $\varphi_{\min}$ і $\varphi_{\max}$ використовують у розрахунках параметрів $G_{\min}$ і $G_{\max}$. Якщо діаграма спрямованості антени земної станції невідома, використовують діаграму спрямованості, розраховану з використанням формул 96, 97 цього додатка.

Якщо для всіх азимутальних напрямків визначено одне значення мінімального кута нахилу осі антени земної станції, мінімальний і максимальний коефіцієнти підсилення земної станції в напрямку обрію розраховують для кожного розглянутого азимута з використанням діаграми спрямованості антени і кута місця обрію на цьому азимуті.

Значення параметра G_e визначають за формулою:

$$\begin{aligned} G_e &= G_{\max} && \text{для } (G_{\max} - G_{\min}) \leq 20 \text{ дБ} \\ G_e &= G_{\min} + 20 && \text{для } 20 \text{ дБ} < (G_{\max} - G_{\min}) < 30 \text{ дБ,} \\ G_e &= G_{\max} - 10 && \text{для } (G_{\max} - G_{\min}) \geq 30 \text{ дБ} \end{aligned} \quad (110)$$

де: $G_{\max}$ і $G_{\min}$ — величини, визначені за методикою, викладеною в пункті 6.2 цього додатка.

7. Особливості визначення координатної зони для передавальної земної станції, що працює з геостационарною космічною станцією, у смузі радіочастот, яка розподілена для двонаправленої роботи

7.1. Розрахунок коефіцієнта підсилення антени в напрямку обрію для невідомих земних станцій, що працюють з геостаціонарними космічними станціями

Для визначення координатного контура відносно передавальної земної станції у разі двонаправленої роботи необхідно визначити коефіцієнт підсилення антени в напрямку обрію для невідомої приймальної земної станції, а також коефіцієнт підсилення антени в напрямку обрію для кожного азимута передавальної земної станції, яку координують.

Методика розрахунку коефіцієнта підсилення антени передавальної земної станції в напрямку обрію викладена в пункті 6 цього додатка.

Значення коефіцієнта підсилення антени приймальної станції (G_r) у напрямку обрію визначають так:

1) оскільки приймальна земна станція може працювати з будь-яким супутником на геостаціонарній орбіті, розташованій вище мінімального кута місця ($\varepsilon_{\min}$), зазначеного в таблиці 9 доповнення 7 до додатка 7 до РР, тому спочатку визначають максимальну різницю по довготі (δ_b) між приймальною земною станцією і пов'язаною з нею космічною станцією при мінімальному куті місця ($\varepsilon_{\min}$) за допомогою формули:

$$\delta_b = \arccos \left(\frac{\sin \left(\varepsilon_{\min} + \arcsin \left(\frac{\cos(\varepsilon_{\min})}{K} \right) \right)}{\cos(\zeta)} \right), \quad (111)$$

де: ζ — широта приймальної земної станції, яку обирають рівною широті передавальної земної станції;

K — відношення радіуса супутникової ГСО до радіуса Землі, яке обирають рівним 6,62;

2) для кожного азимутального напрямку (α) визначають значення азимута приймальної земної станції відносно передавальної земної станції (α_r):

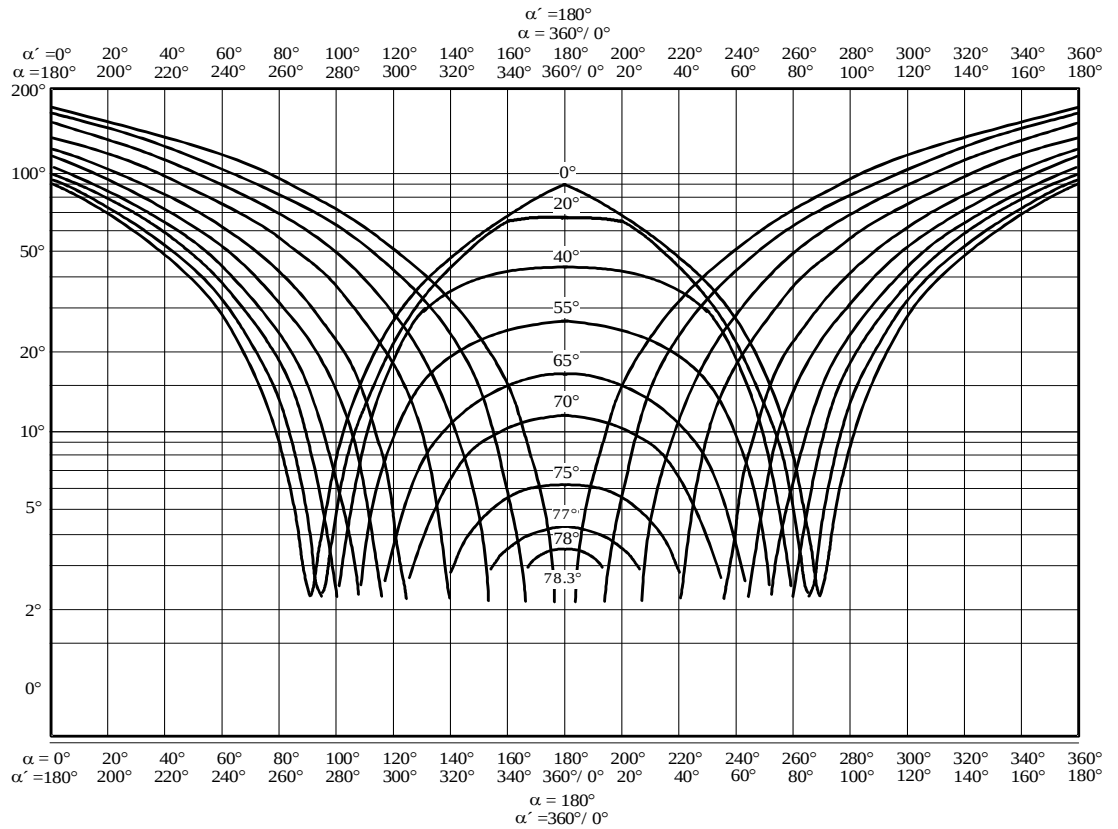
$$\begin{aligned} \alpha_r &= \alpha + 180^\circ & \text{для } \alpha < 180^\circ; \\ \alpha_r &= \alpha - 180^\circ & \text{для } \alpha \leq 180^\circ; \end{aligned} \quad (112)$$

3) для кожного азимута α_r визначають мінімальне кутове рознесення φ (α_r) між віссю головного пелюстка ДСА приймальної земної станції і площиною обрію для значень широти $\zeta_c \leq i_s - \psi_m$ (варіант 1, підпункт 6.3.1 цього додатка). Для визначення мінімального значення $\varphi(\alpha_r, 0, \delta_0)$ вибирають значення параметра δ_0 в межах $-\delta_b \leq \delta_0 \leq \delta_b$ із кроком 1° чи меншим з урахуванням крайніх точок.

На рисунку 5 цього додатка наведемо графіки мінімального кутового рознесення $\varphi(\alpha_r)$ між віссю головного пелюстка ДСА приймальної земної станції і площиною обрію для значень мінімального кута місця. На

горизонтальній осі графіка наведено шкалу поточного азимута, а на вертикальній — мінімальний кут між площиною обрію і точками на ГСО. По вертикальній осі в центрі рисунка наведено шкалу широт місця розташування земної станції.

Південна півкуля



Північна півкуля

Рисунок 5 — Графіки мінімального кутового рознесення між площиною обрію і віссю головного пелюстка ДСА для значень $\varepsilon_{\min}=3^\circ$

4) з урахуванням знайденого значення мінімального кутового рознесення $\varphi(\alpha_r)$ визначають коефіцієнт підсилення антени приймальної земної станції в напрямку обрію, використовуючи формули 96 — 100 цього додатка чи діаграми спрямованості, наведені в таблиці 9 доповнення 7 до додатка 7 до РР.

Подальший розрахунок параметрів ЕМС РЕЗ для побудови координаційної зони для моделі розповсюдження виду (1) виконують згідно з методикою, викладеною вище.

7.2. Особливості побудови координаційного контура передавальної земної станції для моделі розповсюдження виду (2) у разі двонаправленої роботи

Для визначення координаційного контура передавальної земної станції для моделі розповсюдження виду (2) у разі двонаправленої роботи необхідно визначити низку параметрів:

1) горизонтальну відстань (d_s) від координованої земної станції до точки, в якій вісь головного пелюстка ДСА досягає середньої висоти дощу (h_R), розраховують за формулою:

$$d_s = 8500 \cdot \left(\sqrt{\operatorname{tg}^2 \varepsilon_s + h_R / 4250} - \operatorname{tg} \varepsilon_s \right), \quad (113)$$

де значення h_R визначають відповідно до формули 66 цього додатка, а значення ε_s є мінімальним кутом місця передавальної земної станції.

2) максимальна розрахункова відстань $d_{\max}$, яка необхідна для визначення координаційного контура для моделі розповсюдження виду (2) у разі двонаправленої роботи, залежить від висоти дощу і її визначають за формулою:

$$\begin{aligned} d_{\max} &= 130,4 \cdot \sqrt{h_R}, & \text{якщо } d_{\max} \text{ більше } d_{\min}, \\ d_{\max} &= d_{\min}, & \text{якщо } d_{\max} \text{ менше } d_{\min}. \end{aligned} \quad (114)$$

Значення $d_{\min}$ розраховують за формулою 14 цього додатка.

Точка, розташована на відстані d_s від земної станції на азимуті α_s для осі головного пелюстка ДСА передавальної земної станції, географічно розташована під точкою перетину осі головного пелюстка ДСА з висотою дощу. Ця точка є опорною, відносно неї визначають відстань $d_{\max}$ під час побудови координаційної зони;

3) максимальну широту, на якій приймальна земна станція може працювати з геостационарним супутником з мінімальним кутом нахилу $\varepsilon_{\min}$, визначають в тому разі, коли максимальна відстань $d_{\max}$ більша ніж мінімальна відстань $d_{\min}$. Для цього використовують формулу:

$$\zeta_{\max} = \arccos \left[\frac{\cos(\varepsilon_s)}{K} \right] - \varepsilon_s, \quad (115)$$

де значення $\varepsilon_{\min}$ визначають з таблиці 9 доповнення 7 до додатка 7 до РР, параметр $K = 6,62$.

Якщо широта розташування земної станції в Північній півкулі більша ніж $\zeta_{\max}$, або якщо широта розташування координованої станції, розміщеної в Південній півкулі, менша ніж $\zeta_{\max}$ чи 71° , координаційний контур для моделі розповсюдження виду (2) є колом з радіусом $d_{\min}$ із центром у точці розміщення передавальної земної станції. У всіх інших варіантах координаційну зону визначають так:

а) якщо траса розповсюдження проходить через точку перетинання осі головного пелюстка ДСА координованої земної станції з висотою дощу, азимутальні кути від проекції точки на поверхню Землі в напрямку розташування приймальної земної станції визначають за формулою:

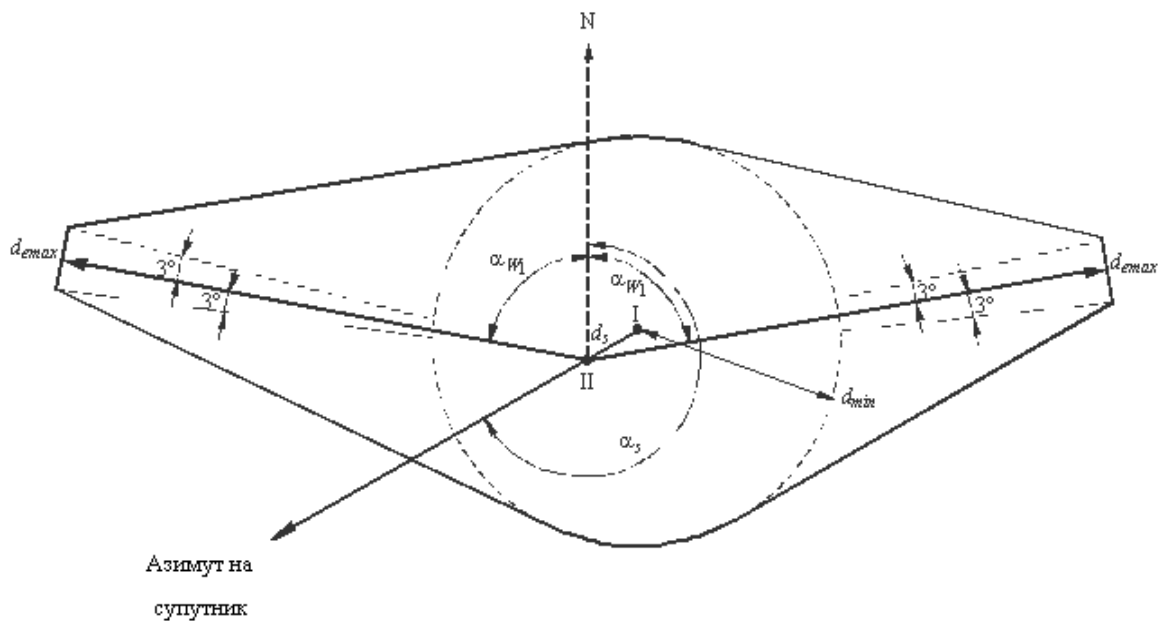
$$\alpha_{w1} = \arccos \left[\frac{\operatorname{tg} \zeta}{\operatorname{tg} \zeta_{\max}} \right]. \quad (116)$$

$$\alpha_{w2} = 360^\circ - \alpha_{w1}$$

При цьому вважають, що приймальна земна станція працює в напрямку супутника на мінімальних кутах місця $\varepsilon_{\min}$. Також вважають, що приймальна земна станція розташована відносно близько до координованої земної станції і, отже, у межах координаційної зони можна застосовувати апроксимацію геометричних побудов на площині;

б) на карті відповідного масштабу визначають точку, яка вказує на місце розташування координованої земної станції. Від цієї точки до проекції точки перетину осі головного пелюстка ДСА координованої станції з висотою дощу уздовж азимута $\alpha_{\min}$ проводять відрізок довжиною d_s ;

в) від проекції точки перетинання осі головного пелюстка ДСА координованої земної станції уздовж азимутів α_{w1} і α_{w2} прокладають відрізки довжиною $d_{\max}$ і будують дві дуги шириною по 3° відносно відрізка $d_{\max}$, які є границею зони розсіювання внаслідок дощу у разі двонаправленої роботи (рисунок 6 цього додатка);



I: Місцезнаходження передавальної земної станції

II: Точка, в якій вісь головного променя антени досягає висоти h_R

Вихідні дані:
 $\zeta = 40^\circ \text{N}$
 $\varepsilon_s = 10^\circ$
 $\alpha_s = 254^\circ$

Рисунок 6 — Дощова зона розсіювання у разі двонаправленої роботи

г) навколо місця розміщення координованої земної станції будують коло радіусом, рівним мінімальній координаційній відстані $d_{\min}$ і проводять прямі лінії від північних меж двох сегментів дуги перпендикулярно до

північного краю кола, а також від південних меж двох сегментів перпендикулярно до південного краю кола.

Таким чином, отримана зона дощового розсіювання складається з можливих точок місць розташування невідомої приймальної земної станції, від яких вісь головного пелюстка ДСА приймальної земної станції в напрямку до геостаціонарної супутникової орбіти перетне вісь головного пелюстка ДСА координованої передавальної земної станції, у разі двонаправленої роботи в суміщених смугах радіочастот.

8. Особливості побудови додаткового координатного контура

Побудову додаткових контурів координованої земної станції застосовують, коли в сполучених службах використовують радіосистеми, для яких застосовують жорсткіші критерії суміщення ніж ті, котрі використовують при визначенні координатної зони.

Так, додаткові контури застосовують у розрахунку параметрів ЕМС земних станцій, які працюють з негеостаціонарними космічними станціями у разі використання методу “змінного в часі підсилення” (TVG).

У методі TVG використовують інтегральну функцію розподілу змінного в часі підсилення в напрямку обрію антени земної станції, яка працює з негеостаціонарною космічною станцією. Порівняно з методом TIG, метод TVG дає менші відстані, але при цьому потрібен більший обсяг роботи з визначення інтегральної функції розподілу підсилення антени земної станції в напрямку обрію для кожного розглянутого азимута. Необхідну відстань для розповсюдження виду (1) для азимута, що розглядають, обирають рівним найбільшій відстані, за допомогою формули:

$$L_b(p_v) - G_e(p_n) = P_t + G_x - P_r(p), \quad (117)$$

з такими обмеженнями:

$$p_v = \begin{cases} \frac{p}{p_n} \cdot 100\% & \text{для } p_n \geq 2 \cdot p, \\ 50 & \text{для } p_n < 2 \cdot p \end{cases}, \quad (118)$$

де: p — відсоток часу, пов'язаний із допустимим рівнем потужності радіозавад $P_r(p)$;

$G_e(p_n)$ — коефіцієнт підсилення антени координованої земної станції в напрямку обрію, який перевищено протягом $p_n\%$ часу для азимута, який розглядають;

$L_b(p_v)$ — мінімально необхідні втрати для моделі розповсюдження виду (1) протягом $p_v\%$ часу. Ці втрати повинні бути меншими ніж прогнозовані втрати на трасі розповсюдження виду (1) протягом усього часу, за винятком $p_v\%$ часу.

Для визначення мінімально необхідних втрат для моделі розповсюдження виду (1) для кожного значення p_n у формулі 117 цього додатка використовують величину коефіцієнта підсилення антени в напрямку обрію $G_e(p_n)$ для цього відсотка часу. Значення прогнозованих втрат на трасі

для моделі розповсюдження виду (1) повинно перевищувати цей рівень необхідних втрат під час розповсюдження виду (1) протягом не більш ніж у p_v відсотках часу згідно з обмеженнями до формули 118 цього додатка. Після цього визначають відстані для траси розповсюдження радіозавод виду (1).

У разі використання методу змінного в часі підсилення (TVG) для визначення додаткового контура земної станції потрібно визначення статистики підсилення антени в напрямку обрію для всіх азимутів (з відповідним кроком, для прикладу, 5° навколо земної станції).

Під час розгляду величини коефіцієнта підсилення антени в напрямку обрію для передавальної чи приймальної земної станції треба враховувати тільки робочі значення коефіцієнта в напрямку обрію. У визначенні інтегральної функції розподілу коефіцієнта підсилення антени в напрямку обрію як відсотки часу застосовуються відсотки робочого часу. Таким чином, можуть бути отримані і періоди часу, для яких підсилення антени в напрямку обрію не визначено.

Для визначення розподілу коефіцієнта підсилення антени в напрямку обрію необхідна інформація про земну станцію, про орбіту, включаючи інформацію про те, використовується чи не використовується корекція положення станції на орбіті для забезпечення єдиної орбітальної траси (на якій досягаються повторювані/неповторювані проекції траси супутника на поверхні Землі). При цьому інтегральну функцію розподілу змінного в часі підсилення в напрямку обрію антени передавальної чи приймальної земної станції, що працює з негеостаціонарними космічними станціями, розраховують так:

1) моделюють угруповання негеостаціонарних космічних станцій протягом досить тривалого періоду з відповідним кроком для кожної висоти орбіти, щоб одержати вірне уявлення про зміни підсилення антени. Для повторюваних проекцій трас моделюють орбітальну трасу для кожного супутника, видимого із земної станції за період наземного сліду. Для супутникових угруповань з неповторюваними проекціями трас на поверхні Землі моделюють орбіту для кожного супутника в угрупованні за досить тривалий період, щоб одержати стійке уявлення про розподіл;

2) на кожному кроці визначають азимут і кут місця для кожного супутника, видимого із земної станції і розташованого вище мінімального кута місця, з яким працює земна станція. Додатково до критерія мінімального кута місця можна використовувати інші критерії для виключення деяких геометричних конфігурацій, для прикладу, виключення дуги геостаціонарної орбіти (заборона передавання між земною станцією і негеостаціонарним супутником, тобто в межах $\pm X^\circ$ від дуги геостаціонарної орбіти);

3) на кожному кроці і для кожного супутника, зв'язаного із земною станцією, для обчислення коефіцієнта підсилення в напрямку до обрію для кожного азимута і кута місця навколо земної станції використовують фактичну діаграму спрямованості антени земної станції чи аналітичні висловлювання, які дають прийнятне наближення до цієї діаграми;

4) вибирають збільшення для підсилення антени (g , дБ) і весь діапазон коефіцієнта підсилення антени ділять на рівні між G_{min} і G_{max} , тобто $G = \{G_{min}, G_{min} + g, G_{min} + 2g, \dots, G_{max}\}$.

Ці рівні коефіцієнта підсилення антени визначають набір інтервалів коефіцієнтів підсилення так, щоб n -ий інтервал ($n = 1, 2, 3, \dots$) містив значення коефіцієнта підсилення, яке було б рівним чи більшим ніж $G_{min} + (n-2)g$ і меншим ніж $G_{min} + (n-1)g$.

Рекомендоване значення кроку g вибирають у межах від 0,1 дБ до 0,5 дБ.

Для кожного азимута навколо земної станції підсумовується час, коли коефіцієнт підсилення антени в напрямку обрію набуває значення з кожного інтервалу шириною g , дБ;

5) визначається функція щільності імовірності розподілу коефіцієнта підсилення для кожного азимута за допомогою розподілу часу на кожному інтервалі підсилення на загальний час моделювання;

6) визначається інтегральна функція розподілу коефіцієнта підсилення антени в напрямку обрію для кожного азимута шляхом нагромадження значень функції щільності розподілу в цьому азимуті. Значенням необхідної інтегральної функції за будь-якого визначеного значення коефіцієнта підсилення є відсоток часу, за якого коефіцієнт підсилення менше чи дорівнює цьому визначеному значенню.

За результатами визначення інтегральної функції розподілу коефіцієнта підсилення антени земної станції розраховується координатна відстань з використанням моделі розповсюдження виду (1).

Після визначення відсотка часу p_n , для якого коефіцієнт підсилення антени в напрямку обрію перевищує рівень $G_{en} = G_{min} + (n-1) \cdot g$ (для значень $n = 1, 2, 3, \dots$ і відповідного збільшення коефіцієнта підсилення g), для кожного відсотка часу визначається відстань d_n , для якої прогнозовані втрати на трасі розповсюдження радіозв'язу виду (1) дорівнюють мінімально необхідним втратам. Це може бути тільки для значення відсотка часу $p_v = 100 \cdot \frac{p}{p_n} \%$ для $p_n \geq 2 \cdot p \%$.

Координатну відстань для цього випадку розраховують з використанням методики, викладеної в пункті 1 цього додатка. При цьому вихідною формулою для розрахунку координатної відстані є формула:

$$L_{bn}(p_v) = P_t + G_n + G_x - P_r(p), \quad (119)$$

Необхідною координатною відстанню для моделі розповсюдження виду (1) на кожному розглянутому азимуті є найбільше значення d_n , крім тих випадків, коли найбільша відстань отримана для найменшого значення $p_n \geq 2 \cdot p$. У таких випадках координатна відстань, розрахована відповідно до формули 114 цього додатка, визначається зі значенням $G_{en} = G_{max}$ і $p_v = 50\%$.

Таким чином, координатна відстань, що розраховується для додаткового контура для кожного азимута, має бути в межах $d_{min} \leq d \leq d_{max}$.

9. Параметри електромагнітної сумісності геостационарних супутникових мереж відповідно до додатка 30 до РР розраховують так.

9.1. Необхідність розрахунку параметрів ЕМС РЕЗ супутникових мереж РМСС визначається тим, що будь-яка Адміністрація зв'язку, яка пропонує внести до Списку (частотних присвоєнь) додатка 30 до РР нове частотне присвоєння чи змінити характеристики присвоєння, повинна отримати згоду інших Адміністрацій зв'язку, служби яких можуть бути задіяними (підпункт 4.1.1 статті 4 додатка 30 до РР). Радіослужби Адміністрації зв'язку вважаються причетними, якщо перевищуються:

- межі зміни еквівалентної шумової температури супутникової мережі;
- межі загального еквівалентного запасу захисту, зазначені в доповненні 1 як до додатка 30 до РР, так і до додатка 30А до РР;
- необхідна координаційна відстань земної станції.

При цьому Адміністрація зв'язку, що має частотне присвоєння космічної станції, внесене до Списку, не вважається причетною, якщо виконуються такі дві умови:

1) щільність потоку потужності в будь-якій контрольній точці цієї зони обслуговування, зв'язаної з будь-якими її частотними присвоєннями в Плані РМСС чи Списку, не повинна перевищувати таких значень:

$147 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 27 \text{ МГц))}$	для $0^\circ \leq \theta < 0,245^\circ$;
$134,8 + 20 \cdot \lg \theta \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 27 \text{ МГц))}$	для $0,245^\circ \leq \theta < 1,7^\circ$;
$135 + 1,66 \cdot \theta^2 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 27 \text{ МГц))}$	для $1,7^\circ \leq \theta < 3,6^\circ$;
$127,5 + 20 \cdot \lg \theta \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot 27 \text{ МГц))}$	для $3,6^\circ \leq \theta < 9^\circ$,

де значення θ відповідає мінімальному геоцентричному кутовому рознесенню з урахуванням відповідної точності стабілізації на орбіті космічних станцій РМСС, які створюють радіозавади, і станцій РМСС, які зазнають впливу радіозавад;

2) еквівалентний запас захисту по лінії вниз (еквівалентний запас захисту фідерної лінії), що відповідає контрольній точці його присвоєння в Плані РМСС чи Списку для Районів 1 і 3, не знижується більше ніж на 0,45 дБ нижче 0 дБ чи за негативного значення не знижується більше ніж на 0,45 дБ нижче величини, обумовленої Планом РМСС.

Адміністрація зв'язку Районів 1 і 3, що мають частотне присвоєння космічної станції РМСС, вважається причетною, якщо запропонована зміна Плану РМСС Району 2 призведе до збільшення відношення $\Delta T_s / T_s$, розрахованого за методикою, викладеною у додатку 5 до РР “Визначення адміністрацій з якими потрібно проводити координацію або має бути досягнута згода у відповідності з положеннями Статті 9”, більш ніж на 4%.

Адміністрація зв'язку у Районі 1 чи 3 буде вважатися причетною запропонованим новим чи зміненим присвоєнням у Списку Районів 1 і 3, коли щільність потоку потужності на вході приймальної станції радіомовної супутникової фідерної лінії буде створювати підвищення шумової температури космічної станції фідерної лінії, яке перевищує граничне

значення величини $\Delta T/T$, що відповідає 3%, з урахуванням того, що максимальна щільність потоку потужності на 1 Гц, усереднена по гіршій смузі шириною в 1 МГц, замінена щільністю потоку потужності на 1 Гц, усередненою по всій ширині смуги радіочастот несучих радіочастот фідерної лінії (24 МГц для Району 2 і 27 МГц для Районів 1 і 3).

З викладеного видно, що залежно від ситуації взаємодії РЕЗ радіомовної супутникової служби за Планами РМСС (додаток 30 до РР та додаток 30А до РР) з РЕЗ, у тому числі й інших радіослужб, у суміщених смугах радіочастот для вирішення завдань заяви, координації і реєстрації частотних присвоєнь станціям РМСС необхідно проводити розрахунок параметрів ЕМС РЕЗ:

за критерієм збільшення еквівалентної шумової температури ($\Delta T_s/T_s$);

за критерієм необхідної координаційної відстані;

за критерієм максимально допустимої щільності потоку потужності завади на межі зони обслуговування радіомовної супутникової служби і за критерієм загального еквівалентного запасу захисту, методологічні аспекти яких розглянуті в пункті 9.2 цього додатка.

Конкретні ситуації взаємодії РЕЗ радіомовної супутникової служби за Планами РМСС (додаток 30 до РР та додаток 30А до РР) з РЕЗ, у тому числі й інших радіослужб, у суміщених смугах радіочастот і відповідні критерії оцінки електромагнітної сумісності РЕЗ різних служб визначаються положеннями статей 4 — 7 додатка 30 до РР та статей 4 — 7 додатка 30А до РР.

9.2. Максимально допустиму щільність потоку потужності радіозавади на межі зони обслуговування радіомовної супутникової служби розраховують у такій послідовності.

Для частотних присвоєнь станціям радіомовної супутникової служби в смугах радіочастот від 11,7 ГГц до 12,5 ГГц для Району 1, від 12,2 ГГц до 12,7 ГГц для Району 2 і від 11,7 ГГц до 12,2 ГГц для Району 3 застосовуються положення пункту 9.19 статті 9 до РР для передавальних наземних станцій у смузі від 11,7 ГГц до 12,7 ГГц у всіх Районах і передавальних земних станцій ФСС у смузі від 12,5 ГГц до 12,7 ГГц у Районі 1. При цьому процедури координації застосовують стосовно Адміністрацій зв'язку, територія яких входить у зону обслуговування частотних присвоєнь:

відповідних визначеному регіональному Плану, наведеному в додатку 30 до РР;

включених у Список Районів 1 і 3;

для яких вже почато процедуру координації відповідно до статті 4 додатка 30 до РР.

Основним критерієм оцінки ЕМС РЕЗ у цих ситуаціях є граничне значення щільності потоку потужності завади на межі зони обслуговування.

Рекомендований МСЕ метод визначення меж завади на межі зони обслуговування РМСС у смугах частот від 11,7 ГГц до 12,5 ГГц складається з двох частин:

розрахунок максимально допустимої щільності потоку потужності завади на межі відповідної зони обслуговування РМСС;

розрахунок можливої щільності потоку потужності, створюваної наземним передавачем іншої Адміністрації зв'язку, у будь-якій точці на межі зони обслуговування.

Можливість впливу радіозавад від наземних передавачів треба розглядати в кожному окремому випадку. При цьому щільність потоку потужності, що створюється кожним наземним передавачем, порівнюється з граничним значенням щільності потоку потужності в будь-якій точці на межі зони обслуговування радіомовної супутникової станції іншої Адміністрації зв'язку. Якщо для якогось конкретного передавача значення створеної щільності потоку потужності нижче значення граничної величини щільності потоку потужності в будь-якій точці на межі зони обслуговування, радіозавади, які створюються радіомовній супутниковій службі цим передавачем, вважаються нижчими допустимого значення і між Адміністраціями зв'язку не потрібно ніякої координації до запровадження в дію наземної служби. В іншому разі необхідні координація і більш точні розрахунки, проведені на підставі взаємного погодження.

Якщо проведені розрахунки вказують на перевищення максимально допустимої щільності потоку потужності, це зовсім не означає заборону на введення наземної служби, тому що в розрахунках завжди за основу береться найгірший випадок відносно:

- характеру місцевості на трасі розповсюдження радіозавад;
- розв'язки для приймальної установки радіомовної супутникової служби поза напрямком основного променя;
- необхідних захисних відношень для радіомовної супутникової служби;
- типу прийому (індивідуальний чи колективний) у радіомовній супутниковій службі, тобто передбачається індивідуальний прийом, що є більш критичним ніж колективний, для розглянутих кутів місця;
- значення щільності потоку потужності, що захищається, в радіомовній супутниковій службі;
- умов розповсюдження радіохвиль між наземною станцією і зоною обслуговування радіомовного супутника.

Граничне значення щільності потоку потужності, що не повинно перевищуватися на межі зони обслуговування з метою захисту радіомовної супутникової служби якоїсь Адміністрації зв'язку, визначають за формулою:

$$F = F_0 - R + D + P, \quad (120)$$

де: F_0 — граничне значення щільності потоку потужності корисного сигналу на межі зони обслуговування;

R — захисне відношення між корисним сигналом і сигналами, що заважають;

D — кутова розв'язка, забезпечена діаграмою спрямованості приймальної антени системи супутникового зв'язку;

P — поляризаційна розв'язка між корисним сигналом і сигналами, що заважають.

Граничне значення щільності потоку потужності корисного сигналу на межі зони обслуговування (F_0) встановлюється на рівні мінус 103 дБ(Вт/м²) для зон обслуговування Районів 1 і 3, а також мінус 107 дБ(Вт/м²) для смуги шириною 24 МГц Району 2.

Захисне відношення (R) у разі поодинокі радіозавади для всіх типів наземного передавання, за винятком багатоканальних телевізійних систем з амплітудною модуляцією, складає 35 дБ, а у разі рознесення несучих радіочастот корисного сигналу і сигналів, що заважають, до ± 10 МГц; при цьому воно лінійно зменшується від 35 дБ до 0 дБ зі збільшенням рознесення несучих радіочастот від 10 МГц до 35 МГц і дорівнює 0 дБ для рознесення несучих радіочастот більше ніж за 35 МГц (рисунок 7 цього додатка).

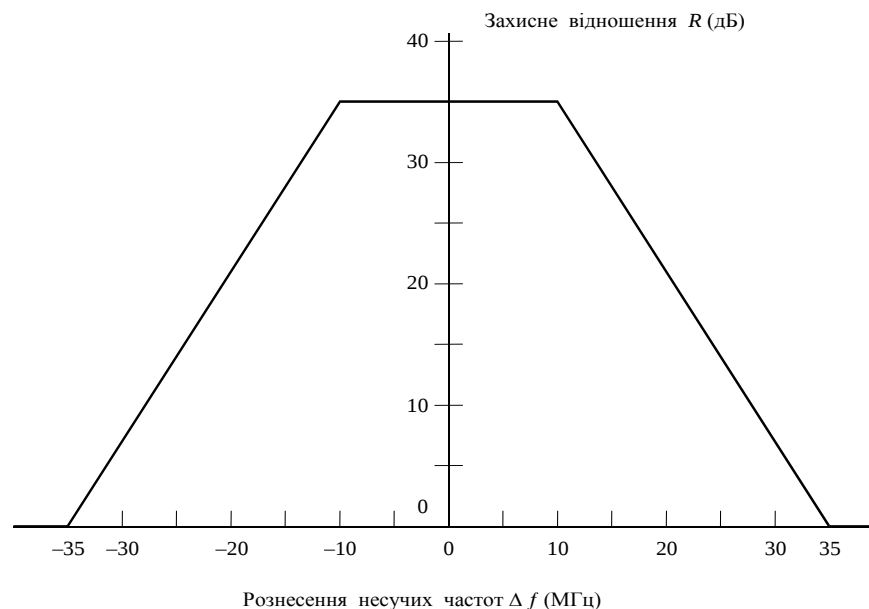


Рисунок 7 — Захисне відношення R (дБ) для РМСС у разі поодинокі радіозавади

При цьому рознесення несучих частот треба визначати стосовно частотних присвоєнь відповідно до додатка 30В до РР. Коли присвоєння не внесені в План, рознесення несучих радіочастот треба визначати стосовно частотних присвоєнь нової чи діючої системи. У разі багатоканальних телевізійних систем з амплітудною модуляцією, що створюють піки високої щільності потоку потужності, які розподілені в більшій частині їхньої необхідної ширини смуги, захисне відношення (R) дорівнює 35 дБ і не залежить від рознесення несучих радіочастот.

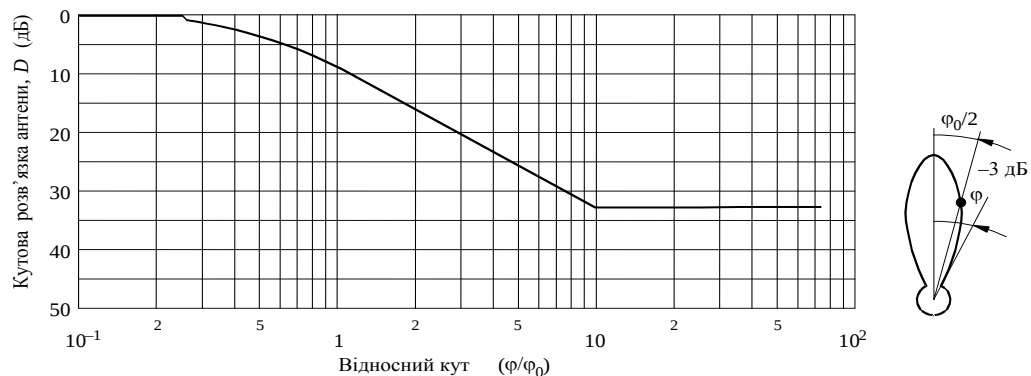
Сигнал від наземної станції варто враховувати тільки в тому разі, якщо необхідна ширина смуги сигналу перекриває необхідну ширину смуги присвоєння радіомовного супутника.

Значення кутової розв'язки (D) визначають залежно від кута місця, обраного для діючої радіомовної супутникової системи або такої, яка буде передбачатися, що забезпечує відповідну зону обслуговування РМСС для Районів 1 і 3, та розраховують за формулою:

$$D = \begin{cases} 0 & \text{дБ, при } 0^\circ \leq \varphi \leq 0,5^\circ \\ 3 \cdot \varphi^2 & \text{дБ, при } 0,5^\circ < \varphi \leq 1,41^\circ \\ 3 + 20 \cdot \lg \varphi & \text{дБ, при } 1,41^\circ < \varphi \leq 2,52^\circ, \\ 1 + 25 \cdot \lg \varphi & \text{дБ, при } 2,52^\circ < \varphi \leq 19^\circ \\ 33 & \text{дБ, при } \varphi \geq 19^\circ \end{cases} \quad (121)$$

Величину кутової розв'язки (D) можна визначити графічним методом з використанням графіка, наведеного на рисунку 8 цього додатка. Аналогічно визначають значення кутової розв'язки (D) для Району 2:

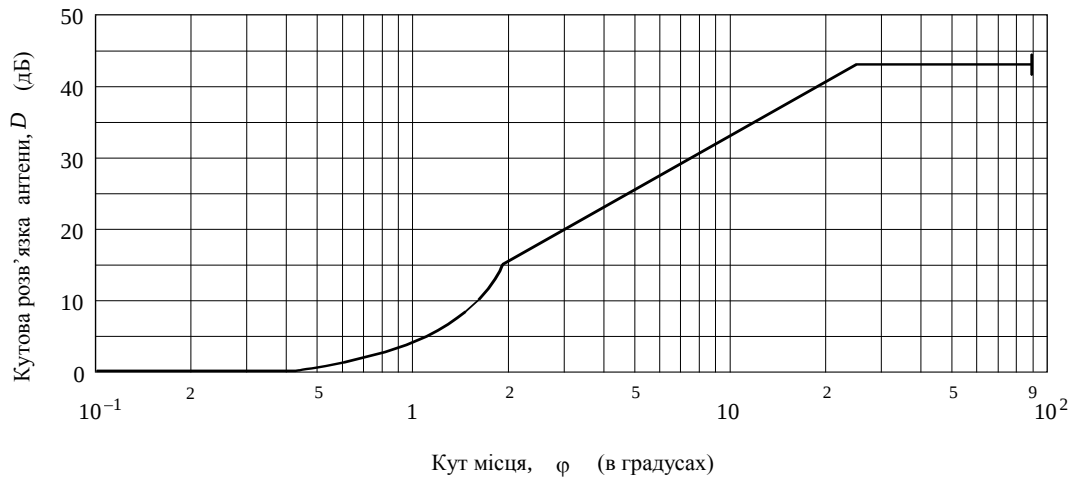
$$D = \begin{cases} 0 & \text{дБ, при } 0^\circ \leq \varphi < 0,43^\circ \\ 4,15 \cdot \varphi^2 & \text{дБ, при } 0,43^\circ \leq \varphi < 1,92^\circ \\ 8,24 + 25 \cdot \lg \varphi & \text{дБ, при } 1,92^\circ \leq \varphi < 25^\circ \\ 43,2 & \text{дБ, при } \varphi \geq 25^\circ \end{cases} \quad (122)$$



Для зон обслуговування Районів 1 і 3, $\varphi_0 = 2^\circ$.

Рисунок 8 — Графік функції $D(\varphi)$ для Районів 1 і 3

Графічним методом значення кутової розв'язки (D) для Району 2 визначають за допомогою рисунка 9 цього додатка:

Рисунок 9 — Графік функції $D(\varphi)$ для Району 2

Значення поляризаційної розв'язки (P) обирають рівним 3 дБ у тому разі, якщо на станції наземної служби, що створює завади, використовується лінійна, а в радіомовній супутниковій службі — кругова поляризація випромінювання або навпаки. Якщо у наземній і радіомовних супутникових службах використовують збіжну поляризацію випромінювання, тоді значення $P=0$.

9.3. Розрахунок спектральної щільності потоку потужності, що створюється передавачем наземної станції, на межі зони обслуговування

Щільність потоку потужності, створюваної передавачем наземної станції в будь-якій точці на межі зони обслуговування (F_p), визначають за формулою:

$$F_p = E - A + 43, \quad (123)$$

де: E — еквівалентна ізотропно-випромінювана потужність передавача наземної станції в напрямку цієї точки на межі зони обслуговування, дБ (Вт/м²);

A — загальні втрати на трасі розповсюдження завад, дБ.

Для трас довжиною більше ніж 100 км від межі зони обслуговування величину втрат (A) для Районів 1 і 3 розраховують за формулою:

$$A = 137,6 + 0,2324 \cdot d_t + 0,834 \cdot d_m, \quad (124)$$

де d_t і d_m визначають довжину траси над сушею і над морем відповідно.

Аналогічно розраховують величину втрат на трасі розповсюдження для Району 2 за формулою:

$$A = 141,9 + 0,2867 \cdot d_t + 0,1522 \cdot d_m. \quad (125)$$

Для трас довжиною менше ніж 100 км у Районах 1 і 3 величину втрат (A) визначають як найменше зі значень, розрахованих за формулами 124 та 126:

$$A = 109,5 + 20 \cdot \lg(d_t + d_m). \quad (126)$$

Втрати на трасі розповсюдження (A) залежно як від довжини траси, так і відсоткового співвідношення морської і сухопутної складових частин траси в Районах 1 і 3 можна також визначити графічно з використанням графіків, наведених на рисунку 10 цього додатка.

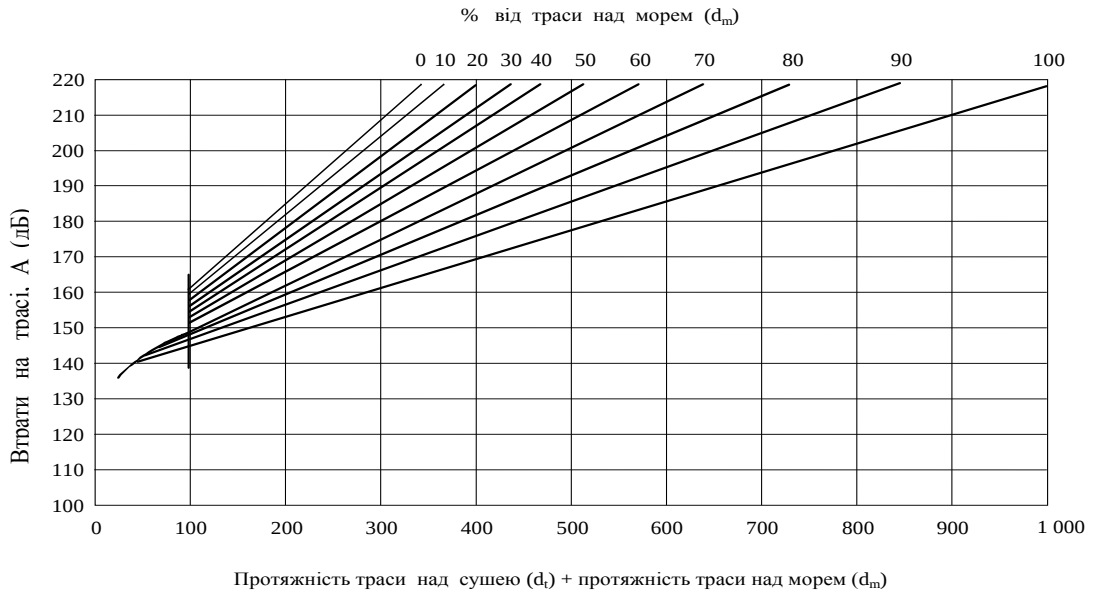


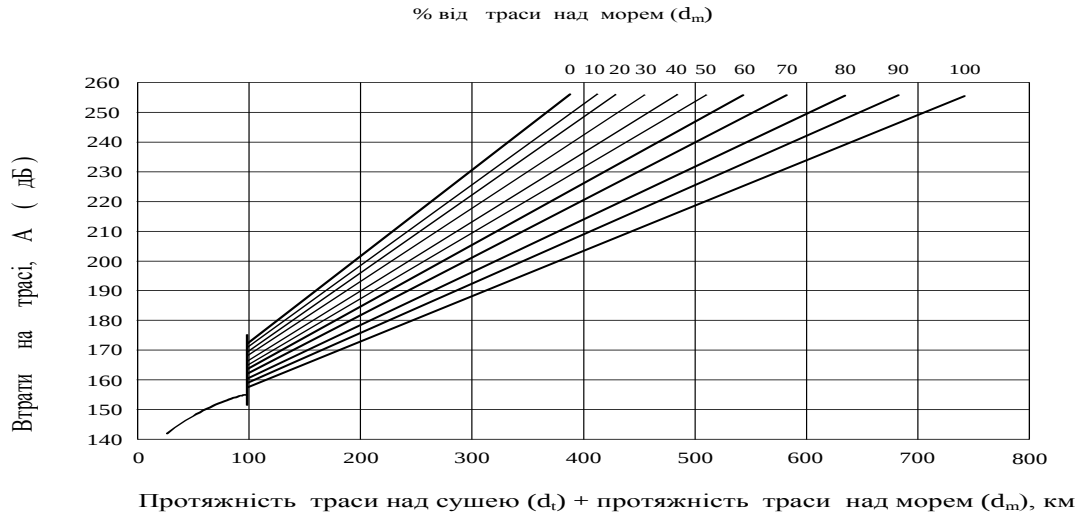
Рисунок 10 — Графік функції A ($d_t + d_m$) для Районів 1 і 3

Втрати на трасі розповсюдження (A) довжиною менше ніж 100 км для Району 2 визначають як найменше зі значень, розрахованих відповідно до формул 125 та 127 цього додатка:

$$A = 114,4 + 20 \cdot \lg(d_t + d_m) + 0,01 \cdot (d_t + d_m). \quad (127)$$

Крім того, втрати на трасі розповсюдження (A) для Району 2 можна визначити на підставі графічної залежності втрат як функції довжини траси і відсоткового співвідношення сухопутних і морських частин траси (рисунок 11 цього додатка).

Координація частотних присвоєнь не проводиться, якщо довжина сухопутної траси складає 400 км і більше або довжина морської і/чи змішаної траси перевищує 1 200 км.

Рисунок 11 — Графік функції $A(d_t + d_m)$ для Району 2

9.4. Розрахунок загального еквівалентного запасу захисту

9.4.1. Основним критерієм оцінки ЕМС РЕЗ для ситуацій впливу РМСС/РМСС відповідно до додатка 30В до РР, є загальний еквівалентний запас по захисту (M) (загальний еквівалентний запас захисту фідерних ліній — M_v).

Для однозначного розуміння моделі розрахунку загальних еквівалентних запасів по захисту, у тому числі фідерної лінії, необхідно ввести деякі специфічні для цього розділу терміни, символи і визначення.

Зона обслуговування лінії вниз — зона на поверхні Землі, у межах якої відповідальна за службу Адміністрація зв'язку має право вимагати забезпечення погоджених умов захисту.

Примітка. З визначення зони обслуговування випливає, що в межах зони обслуговування можуть вимагатися погоджені умови захисту. Це така зона, в якій повинна бути забезпечена бажана щільність потоку потужності і захист від радіозавад на основі погодженого захисного відношення для відсотка часу.

Зона покриття лінії вниз — зона на поверхні Землі, обмежена контуром постійної заданої щільності потоку потужності, що дозволила б забезпечити бажану якість прийому за відсутності радіозавад.

Примітка. Відповідно до положень пункту 23.13 статті 23 до РР зона покриття повинна бути найменшою зоною, що охоплює зону обслуговування.

Зона покриття, яка зазвичай повинна охоплювати всю зону обслуговування, одержується при перетинанні променя антени (еліптичного, кругового чи такого, що має задану форму) з поверхнею Землі і визначається заданим значенням щільності потоку потужності. Для прикладу, це може бути зона, обмежена контуром, що відповідає визначеному рівню. Як правило, поза зоною обслуговування, але в межах зони покриття може бути зона, в якій щільність потоку потужності буде еквівалентна визначеній мінімальній величині, однак захист від завад у цій зоні не буде забезпечено.

Якщо покриття забезпечують керованим променем, контур, що обмежує зону покриття, буде залежати від здатності променя до переорієнтації і не обов'язково буде охоплювати всю зону обслуговування.

Зона променя на лінії вниз — зона, обмежена лінією перетинання променя супутникової передавальної антени з поверхнею Землі на рівні половинної потужності. Концепція зони променя на лінії вниз, як правило, використовувалася з метою планування разом з еліптичними променями.

Примітка. Зона променя — зона на поверхні Землі, що відповідає точкам мінус 3 дБ на діаграмі випромінювання супутникової антени. У багатьох випадках зона променя майже збігається із зоною покриття, при чому розходження обумовлене постійною зміною довжини трас від супутника в межах зони променя, а також постійними змінами умов розповсюдження, якщо такі будуть у межах зони. Однак для зони обслуговування, в якій видимий з орбітальної позиції супутника максимальний розмір складає менше ніж $0,6^{\circ}$ у Районах 1 та 3 і менше ніж $0,8^{\circ}$ у Районі 2 (погоджені мінімальні практично досяжні величини ширини променя супутникової антени по половинній потужності), буде значне розходження між зоною променя і зоною покриття.

Зона променя фідерної лінії — зона, обмежена лінією перетинання основного пелюстка ДС приймальної антени космічної станції з поверхнею Землі по рівню половинної потужності.

Зона обслуговування фідерної лінії — частина поверхні Землі, розташована в зоні променя фідерної лінії, у межах якої відповідальна за службу Адміністрація зв'язку має право розташовувати передавальні земні станції з метою надання фідерних ліній космічним станціям радіомовної супутникової служби.

Номинальна орбітальна позиція — довгота позиції на геостационарній орбіті, що стосується частотного присвоєння космічної станції служби космічного радіозв'язку. Позиція наводиться в градусах від меридіана Грінвіча.

Сусідній канал — радіочастотний канал у Плані частот супутникової служби радіомовлення чи в зв'язаному з ним Плані частот фідерної лінії додатка 30 до РР, що розташований безпосередньо вище або нижче радіочастоти вихідного радіочастотного каналу.

Другий сусідній канал — радіочастотний канал у Плані частот супутникової служби радіомовлення чи в зв'язаному з ним Плані частот фідерної лінії додатка 30 до РР, що розташований безпосередньо за одним із сусідніх каналів відносно вихідного каналу.

Загальне відношення несуча/радіозавада (C/I) — відношення потужності корисної несучої до суми потужності усіх заважаючих радіочастотних сигналів у цьому каналі, включаючи фідерні лінії і лінії вниз. Загальне відношення несуча/радіозавада внаслідок радіозавади від заданого каналу обчислюється як величина, зворотна сумі зворотних величин відношення несуча/радіозавада фідерної лінії і згадуваного відношення несуча/радіозавада лінії вниз на вході супутникового приймача і на вході приймача земної станції відповідно.

Загальний запас по захисту в сумісному каналі (різниця в дБ між загальним відношенням несуча/радіозавада суміщеного каналу і захисним відношенням суміщеного каналу (M_i)) визначається за формулою:

$$M_i = \frac{C}{I_{eq}} - PR_i, \quad (128)$$

де:

$i = 1, 2, \dots, n$ — категорія радіозавади (1 — суміщений канал, 2 — перший нижній сусідній канал, 3 — перший верхній сусідній канал, 4 і 5 — другий нижній і другий верхній сусідні канали відповідно);

n — зазвичай дорівнює 3 для Районів 1 і 3 (для Району 2 $n = 5$);

C — потужність корисного сигналу;

I_{eq} — сумарне значення потужності завад в i -ому каналі;

PR_i — захисне відношення для i -ої категорії завади.

Загальний запас по захисту сусіднього каналу (різниця в дБ між загальним відношенням несуча/радіозавада сусіднього каналу і захисним відношенням сусіднього каналу) визначається за формулою 128 цього додатка.

Загальний еквівалентний запас по захисту (M) для Районів 1, 3 і 2 без урахування фідерної лінії визначають за формулою:

$$M' = -10 \cdot \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{(-M_i/10)} \right). \quad (129)$$

Для Району 2 додатково враховують загальний запас по захисту другого нижнього і другого верхнього сусідніх каналів.

Еквівалентний запас захисту фідерних ліній для районів 1 і 3 визначають за аналогічною формулою:

$$M_u = -10 \cdot \lg \left(10^{\frac{-M_1}{10}} + 10^{\frac{-M_2}{10}} + 10^{\frac{-M_3}{10}} \right). \quad (130)$$

Для оцінки загального еквівалентного запасу захисту з урахуванням відносних складових по фідерній лінії і лінії вниз використовується формула:

$$M = -10 \cdot \lg \left(10^{\frac{-(M_u + R_{cu})}{10}} + 10^{\frac{-(M_d + R_{cd})}{10}} \right) - R_{co}, \quad (131)$$

де:

M_d — еквівалентний запас захисту для лінії вниз:

для аналогових сигналів:

23 дБ для сигналів у збіжному каналі;

5 дБ для сигналів у суміжних каналах;

для цифрових сигналів:

21 дБ для сигналів у збіжному каналі;

16 дБ для сигналів у суміжних каналах;

R_{cu} — захисне відношення фідерної лінії, яке в суміщеному каналі складає 27 дБ;

R_{cd} — захисне відношення лінії вниз у суміщеному каналі, яке обирають рівним 21 дБ;

R_{co} — загальне захисне відношення в суміщеному каналі, що складає 23 дБ.

Для захисту цифрових присвоєнь РМСС для Районів 1 і 3 обрані такі значення захисних відношень для розрахунку еквівалентних запасів захисту фідерних ліній відповідно до додатка 30А до РР:

27 дБ для сигналів у суміщеному каналі;

22 дБ для сигналів у сусідніх каналах.

Захисні маски і типові методи розрахунку потужності завад РМСС, що використовують випромінювання в цифровому режимі, наведені в Рекомендації ITU-R ВО.1293-2.

Типовий метод розрахунку відношення потужності несуча/радіозавада для визначення загального еквівалентного запасу захисту можна надати так:

1) розраховується еквівалентне сумарне відношення потужності несуча/радіозавада для лінії вгору, використовуючи формулу:

$$\frac{C}{I_{eq, ag, up}} = \sum_{i=1}^m \oplus \left(\frac{C}{I_{i, se, up}} + D_i(f_{oi}) \right), \quad (132)$$

де:

$$\sum \oplus \text{ — визначає } \sum_{i=1}^N \oplus A_i = -10 \cdot \lg \left(10^{-A_1/10} + 10^{-A_2/10} + \dots + 10^{-A_N/10} \right);$$

$I_{eq, ag, up}$ — потужність сукупності радіозавад (заважаючих несучих) на збіжній частоті і в разі зсуву частот лінії вгору;

$I_{i, se, up}$ — потужність поодинокі несучої на лінії вниз;

m — кількість заважаючих несучих у фідерній лінії;

f_o — зсув радіочастоти між середніми радіочастотами корисної несучої та однією заважаючою несучою (позитивна чи негативна величина, МГц);

$D_i(f_{oi})$ — різниця (дБ) між величиною відповідної захисної маски без зсуву радіочастоти і величиною відповідної захисної маски зі зсувом радіочастоти (МГц), що визначається за формулою:

$$D(f_o) = 10 \cdot \lg 10^{\left(\frac{B}{b(f_o)}\right)} + K, \quad (133)$$

де:

$b(f_o)$ — ширина смуги перетинання між заважаючою і корисною несучими, МГц;

B — необхідна ширина смуги заважаючої цифрової несучої, МГц;

K — позитивний ваговий коефіцієнт;

2) розраховується еквівалентне сумарне відношення потужності несуча/радіозавада для лінії вниз за формулою:

$$\frac{C}{I_{eq, ag, dn}} = \sum_{j=1}^n \oplus \left(\frac{C}{I_{j, se, dn}} + D_j(f_{oj}) \right), \quad (134)$$

де:

$I_{j, ag, dn}$ — потужність сукупності радіозавад (заважаючих несучих) на збіжній радіочастоті і при зміщенні лінії радіочастот вниз;

$I_{j, se, dn}$ — потужність поодинокі заважаючої несучої на лінії вниз;

n — кількість заважаючих несучих лінії вниз.

Загальне еквівалентне сумарне відношення потужності несуча/радіозавада ($C/I_{ov, eq, ag}$) розраховують за формулою:

$$\frac{C}{I_{ov, eq, ag}} = \frac{C}{I_{eq, ag, up}} \oplus \frac{C}{I_{eq, ag, dn}}. \quad (135)$$

У загальному випадку методи розрахунку захисної маски дозволяють визначити величину коефіцієнта K , значення якого може змінюватися залежно від параметрів корисного та заважаючого сигналів і різниці частот між цими сигналами. За відсутності придатних захисних масок, що чисельно визначають коефіцієнт K , необхідно використовувати значення $K=0$, що буде відповідати найгіршому випадку.

9.4.2. Врахування чинників розповсюдження радіохвиль і характеристик устаткування в розрахунку загального еквівалентного запасу захисту

Втрати під час розповсюдження радіохвиль на трасі “космос — Земля”, які використовують для обчислення еквівалентної ізотропної випромінюваної потужності на лінії вниз, дорівнюють втратам розповсюдження у вільному просторі плюс поглинання в атмосфері і загасання в дощі, що перевищені протягом 1 % часу найгіршого місяця. Значення цього ослаблення можуть бути обчислені як функція кута місця для

дощових кліматичних зон (рисунки 1 — 3 цього додатка). Для фідерних ліній за Планом РМСС Районів 1 і 3 втрати через поглинання в атмосфері не враховуються в розрахунку запасів захисту.

Втрати внаслідок поглинання радіохвиль в атмосфері визначаються за формулою:

$$A_a = \frac{92,2}{\cos \theta \cdot [0,017 \cdot F_o + 0,002 \cdot \rho \cdot F_w]}, \text{ дБ для } \theta < 5^\circ, \quad (136)$$

де:

$$F_o = \left[24,88 \cdot \operatorname{tg} \theta + 0,339 \cdot \sqrt{1416,77 \cdot \operatorname{tg}^2 \theta + 5,51} \right]^{-1}; \quad (137)$$

$$F_w = \left[40,81 \cdot \operatorname{tg} \theta + 0,339 \cdot \sqrt{3811,66 \cdot \operatorname{tg}^2 \theta + 5,51} \right]^{-1};$$

$$A_a = \frac{(0,042 + 0,003 \cdot \rho)}{\sin \theta}, \text{ дБ для } \theta \geq 5^\circ; \quad (138)$$

θ — кут місця (кут узвишся траси), градуси;

ρ — поверхнева концентрація водяного пару, г/м^3 , рівна:

$\rho = 10 \text{ г/м}^3$ для кліматичних зон А — К;

$\rho = 20 \text{ г/м}^3$ для кліматичних зон М — Р.

Загасання сигналів із круговою поляризацією в дощі (A_p), яке перевищується протягом 1 % часу найгіршого місяця в діапазоні 12,5 ГГц, визначається за формулою (використовується також для розрахунку загасання аналогічних сигналів і у фідерній лінії для Району 2):

$$A_{0,01} = 0,21 \cdot \gamma \cdot L \cdot r, \quad (139)$$

де: L — довжина похилої траси, що проходить через дощ і визначається за формулою:

$$L = 2 \cdot \frac{h_R - h_0}{\left\{ \sin^2 \theta + 2 \cdot \frac{h_R - h_0}{8500} \right\}^{1/2} + \sin \theta}; \quad (140)$$

r — коефіцієнт зменшення довжини траси в дощі, який визначається за формулою:

$$r = \frac{90}{90 + 4 \cdot L \cdot \cos \theta}, \quad (141)$$

h_R — висота дощу, яка визначається за формулою:

$$h_R = c \cdot \left\{ 5,1 - 2,5 \cdot \lg(1 + 10)^{\frac{(\zeta - 27)}{25}} \right\}, \quad (142)$$

$c = 0,6$ для $20^\circ \leq |\zeta|$;

$c = 0,6 + 0,02(|\zeta| - 20)$ для $20^\circ < |\zeta| \leq 40^\circ$;

$c = 1,0$ для $|\zeta| > 40^\circ$;

h_0 — висота земної станції над рівнем моря,

$\gamma=0,0202 \cdot R^{1,198}$, дБ/км — погонне загасання в дощі;

R — інтенсивність дощу, мм/рік, яка визначена в таблиці 5 цього додатка.

Таблиця 5

Інтенсивність дощу для дощових кліматичних зон

Дощові кліматичні зони	A	B	C	D	E	F	G	K	M	N	P
Інтенсивність дощу, мм/рік	8	2	5	9	2	8	0	2	3	5	45

Відмінності в розрахунку аналогічних параметрів для фідерної лінії полягають у деякій зміні чисельних значень коефіцієнтів у формулах 132 — 135 цього додатка. Крім того, значення висоти дощу розраховується за формулою:

$$h_R = \begin{cases} 5 - 0,75 \cdot (\zeta - 23) & \text{при } \zeta > 23^\circ \text{ Північна півкуля} \\ 5 & \text{при } 0^\circ \leq \zeta \leq 23^\circ \text{ Північна півкуля} \\ 5 & \text{при } 0^\circ \geq \zeta \geq -21^\circ \text{ Південна півкуля} \\ 5 + 0,1 \cdot (\zeta + 21) & \text{при } -71^\circ \leq \zeta < -21^\circ \text{ Південна півкуля} \\ 0 & \text{при } \zeta < -71^\circ \text{ Південна півкуля} \end{cases} \quad (143)$$

Значення параметра (γ) визначається як функція частотних коефіцієнтів k та α , наведених у таблиці 6 цього додатка, використовуючи при цьому формулу:

$$\gamma = k \cdot (R)^\alpha, \text{ дБ/км.} \quad (144)$$

Таблиця 6

Значення коефіцієнтів k та α

Частота, ГГц	k	α	Район
14,65	0,0327	1,149	Райони 1 та 3
17,5	0,0521	1,114	Район 2
17,7	0,0521	1,110	Райони 1 та 3

Загасання, які перевищені в 1 % відсотку часу найгіршого місяця року, визначають за формулою:

$$\frac{A_p}{A_{0,01}} = 0,12 \cdot p^{-(0,546+0,043 \lg p)}, \quad (145)$$

де: p — усереднений за рік відсоток перевищення, що відповідає заданому відсотку часу перевищення p_w для найгіршого місяця року, який визначається за допомогою формули:

$$p(\%) = 0,30 \cdot p_w(\%)^{1,15}. \quad (146)$$

Для обмеження неоднорідності щільності потоку потужності РМСС і забезпечення спільного використання частот в умовах ясного неба граничне значення загасання лінії вниз обирають рівним 9 дБ

Дощ і лід можуть призвести до деполяризації радіочастотних сигналів. Рівень складової зі збіжною поляризацією відносно деполяризованої компоненти визначає коефіцієнт розв'язки по поляризації (XPD).

Для випромінювання з круговою поляризацією цей коефіцієнт, що перевищується протягом 99 % часу найгіршого місяця (як і для фідерної лінії в діапазоні від 14,5 ГГц до 14,8 ГГц), визначають за формулою:

$$XPD = 30 \cdot \lg f - 40 \cdot \lg(\cos \theta) - 20 \cdot \lg A_p, \text{ при } 5^\circ \leq \theta \leq 60^\circ, \quad (147)$$

де: A_p — загасання в дощі складової зі збіжною поляризацією, що перевищується протягом 1 % часу найгіршого місяця (формула 139 цього додатка);

f — частота, ГГц;

θ — кут місця траси розповсюдження.

Для фідерної лінії в діапазоні від 17,3 ГГц до 18,1 ГГц коефіцієнт XPD, який не перевищується протягом 1 % часу найгіршого місяця, визначають з використанням формули 147 цього додатка, де останній коефіцієнт дорівнює 23.

Методика розрахунку значення коефіцієнта кросполяризаційної розв'язки (XPD_p) для будь-якого заданого $p\%$ часу на основі статистичних даних у дощі придатна у всьому діапазоні від 8 ГГц до 35 ГГц і для кутів нахилу трас розповсюдження $\theta \leq 60^\circ$. Для розв'язання цієї задачі використовують формулу:

$$XPD_p = XPD_{дощ} - C_{лід}, \quad (148)$$

де:

значення дощової складової ($XPD_{дощ}$) коефіцієнта кросполяризаційної розв'язки, що не перевищує $p\%$ часу, яке визначають за формулою:

$$XPD_{дождь} = C_f - C_a + C_\tau + C_\theta + C_\sigma; \quad (149)$$

C_f — частотний коефіцієнт кросполяризаційної розв'язки, що розраховується за формулою:

$$C_f = 30 \cdot \lg f; \quad (150)$$

C_a — складова кросполяризаційної розв'язки, яка залежить від загасання в дощі і розраховується за формулою:

$$C_a = V(f) \cdot \lg A_p; \quad (151)$$

$V(f) = 12,8 \cdot f^{0,19}$ у діапазоні частот від 8 ГГц до 20 ГГц;

$V(f) = 22,6$ у діапазоні частот від 20 ГГц до 35 ГГц;

C_τ — коефіцієнт поліпшення за рахунок кутової розбіжності (τ , град) поляризації, що розраховується за формулою:

$$C_\tau = -10 \cdot \lg[1 - 0,484(1 + \cos 4 \cdot \tau)]. \quad (152)$$

Коефіцієнт поліпшення $C_\tau = 0$ для $\tau = 45^\circ$ і досягає максимальної величини $C_\tau = 15$ дБ для $\tau = 0^\circ$ чи $\tau = 90^\circ$;

C_θ — складова коефіцієнта кросполяризаційної розв'язки, яка залежить від кута місця траси розповсюдження, що визначається за формулою:

$$C_\theta = -40 \cdot \lg(\cos\theta) \quad \text{для } \theta \leq 60^\circ; \quad (153)$$

C_σ — складова коефіцієнта кросполяризаційної розв'язки, яка залежить від ефективної типової девіації розподілу кутів падіння дощових крапель (σ) і визначається за формулою:

$$C_\sigma = 0,0052 \cdot \sigma^2. \quad (154)$$

Величина σ набуває значення 0° , 5° , 10° , 15° відповідно для 1 %, 0,1 %, 0,01 %, 0,001 %.

Значення складової коефіцієнта кросполяризаційної розв'язки, дБ, що залежить від розмірів кристалів льоду, визначається за допомогою формули:

$$C_{\text{лід}} = XPD_{\text{дош}} \cdot \frac{(0,3 + 0,1 \cdot \lg p)}{2}. \quad (155)$$

Для значень кутів θ більше 60° у формулі (148) підставляють значення $\theta = 60^\circ$.

9.5. Використання смуг радіочастот, розподілених РМСС, для передавання ФСС

У разі використання частотних присвоєнь РМСС для передавання сигналів ФСС (пункт 5.492 статті 5 до РР) передбачається, що такі передавання не можуть створювати більше радіозавад ніж передавання РМСС, що працюють відповідно до Плану РМСС. Це припущення базується на тому, що План РМСС спочатку був призначений для аналогового ЧМ/ТБ. Надалі це було поширено і на цифрове ТБ.

У цьому пункті наведено обмеження рівнів потужності передавання ФСС відносно передавання РМСС (аналогового чи цифрового) для задоволення такого критерію.

Основною вимогою для недопущення радіозавад у збіжних каналах є те, щоб передавання ФСС не створювали більших за потужністю радіозавад ніж радіозавади, які створюються під час передавання РМСС. Тобто вимоги будуть задоволені, якщо потужність радіозавад ФСС менша чи дорівнює потужності передавання РМСС.

Для недопущення радіозавад у сусідніх каналах РМСС у разі використання цифрового сигналу замість аналогового енергетична вимога для цифрового сигналу ФСС буде визначатися за формулою:

$$P_{\text{фсс}} \leq P_{\text{рмсс}} - \Delta - 10 \cdot \lg(b/B) + K, \text{ дБВт}, \quad (156)$$

де: B — ширина смуги радіочастот аналогової несучої ТБ;

b — ширина смуги радіочастот спектра, що перекривається;

K — цифровий/аналоговий поправочний коефіцієнт;

Δ — різниця між захисними відносинами для збіжних і сусідніх каналів (8 дБ).

Для широкосмугових цифрових систем, необхідна ширина смуги радіочастот яких $B = 27$ МГц, а $b = 7,82$ МГц, значення параметра $P_{\text{фсс}}$ визначається за формулою:

$$P_{\text{фсс}} \leq P_{\text{рмсс}} - 2,6 + K, \text{ дБВт.} \quad (157)$$

Для вузькосмугових цифрових систем кожен з вузькосмугових каналів з несучими у межах ширини перекриття смуги радіочастот може мати однакові значення рівня радіозавад, які не перевищують рівень:

$$P_{\text{фсс}} \leq P_{\text{рмсс}} - 8 - 10 \cdot \lg n + K, \text{ дБВт.} \quad (158)$$

Допустимі еквівалентні рівні потужності радіозавад наведені в таблиці 7 цього додатка.

Таблиця 7

Допустимі еквівалентні рівні потужності радіозавад

Використання ФСС		Аналогові РМСС	Цифрові РМСС
аналогове ЧМ/ТБ	Збіжні канали	$P_{\text{фсс}} \leq P_{\text{рмсс}}$	$P_{\text{фсс}} \leq P_{\text{рмсс}}$
	Сусідні канали	$P_{\text{фсс}} \leq P_{\text{рмсс}}$	$P_{\text{фсс}} \leq P_{\text{рмсс}}$
цифрове широкосмугове ТБ	Збіжні канали	$P_{\text{фсс}} \leq P_{\text{рсс}}$	$P_{\text{фсс}} \leq P_{\text{рмсс}}$
	Сусідні канали	$P_{\text{фсс}} \leq P_{\text{рмсс}} - 2,6 + K$	$P_{\text{фсс}} \leq P_{\text{рмсс}}$
цифрове вузько-смугове ТБ	Збіжні канали	$P_{\text{фсс}} + 10 \cdot \lg N \leq P_{\text{рмсс}}$	$P_{\text{фсс}} + 10 \cdot \lg N \leq P_{\text{рмсс}}$
	Сусідні канали	$P_{\text{фсс}} + 10 \cdot \lg n \leq P_{\text{рмсс}} - 8 + K$	$P_{\text{фсс}} + 10 \cdot \lg n \leq P_{\text{рмсс}}$

де: N — кількість вузькосмугових несучих ФСС, які замінюють телевізійну несучу РМСС;

n — кількість вузькосмугових каналів ФСС у смугах перекриття.