

Додаток 3
до Методики розрахунків
електромагнітної сумісності
для присвоєння радіочастот
радіоелектронним засобам
радіомовної служби
(пункт 7 розділу V)

ПРОГНОЗУВАННЯ НАПРУЖЕНОСТІ ПОЛЯ
і базових втрат поширення для земних та іоносферних радіохвиль

1. Прогнозування напруженості поля радіохвиль на трасах, де переважно спостерігається прояв механізму поширення радіохвиль за рахунок земних радіохвиль

1.1. Напруженість поля і базових втрат поширення для земних радіохвиль в діапазоні частот від 10 кГц до 30 МГц прогнозується окремо для механізму поширення радіохвиль за рахунок земних хвиль та механізму поширення радіохвиль за рахунок іоносферних (просторових) хвиль відповідно до розділу 2 цього додатка.

1.2. Напруженість поля і базових втрат поширення радіохвиль діапазону частот від 10 кГц до 30 МГц на трасах, де спостерігається переважно прояв механізму поширення радіохвиль за рахунок земних хвиль, прогнозують відповідно до положень Рекомендації ITU-R P.368.

У Рекомендації ITU-R P.368 наведені експериментальні графіки зміни напруженості поля радіохвилі визначеної частоти зі збільшенням відстані від передавача, отримані для різних типів земної поверхні.

Напруженість поля для однорідної ділянки траси конкретного типу прогнозують за відповідним графіком, наведеним у зазначеній Рекомендації.

1.3. Для прогнозування напруженості поля на змішаних трасах (яка містить неоднорідні ділянки) визначають окремі однорідні ділянки $S_1, S_2, S_3 \dots S_N$, з яких складається траса. Кожна з цих ділянок має відповідну довжину $d_1, d_2, d_3 \dots d_N$, провідність та діелектричну проникність $\sigma_1, \epsilon_1; \sigma_2, \epsilon_2; \sigma_3, \epsilon_3; \dots; \sigma_N, \epsilon_N$.

1.4. Для ділянок траси S_1, S_2, S_3 , кожна з яких вважається однорідною, використовуються криві розповсюдження радіохвиль для різних типів земної поверхні (суха земля, лід, волога земля, вода тощо).

Для конкретного номіналу частоти обирається крива, яка відповідає типу земної поверхні для ділянки S_1 , та визначається напруженість поля $E_1(d_1)$ на відстані d_1 . Після цього використовується інша крива, яка відповідає типу земної поверхні іншої ділянки S_2 , та визначаються два значення напруженості поля $E_2(d_1)$ та $E_2(d_1 + d_2)$.

Аналогічно, використовуючи відповідну криву для ділянки S_3 визначають напруженості поля $E_3(d_1 + d_2)$ і $E_3(d_1 + d_2 + d_3)$.

1.5. Напруженість поля сигналу, який приймається приймальною антеною, розташованою на кінці змішаної траси, розраховується за формулою:

$$E_r = E_1(d_1) - E_2(d_1) + E_2(d_1 + d_2) + \dots - E_N(d_1 + d_2 + \dots + d_{N-1}) + E_N(d_1 + d_2 + \dots + d_N) \quad (1)$$

1.6. Для отримання точнішого прогнозованого значення напруженості поля розраховується еквівалентне значення напруженості поля в напрямку передавальної антени (вважаючи, що передавач розташовано в точці прийому, а приймач – на місці передавача) за формулою:

$$E_t = E_N(d_N) - E_{N-1}(d_N + d_{N-1}) + \dots - E_1(d_N + d_{N-1} + \dots + d_2) + E_1(d_N + d_{N-1} + d_1) \quad (2)$$

1.7. Підсумкове значення напруженості поля E на заданій відстані від передавача для змішаної траси розраховується за формулою:

$$E = \frac{(E_r + E_t)}{2}, \text{ дБмкВ/м} \quad (3)$$

1.8. За потреби прогнозоване значення напруженості поля перераховується у базові втрати поширення радіохвиль за емпіричною формулою:

$$L_b = 142,0 + 20 \lg f (\text{МГц}) - E, \text{ дБ} \quad (4)$$

2. Процедура прогнозування втрат поширення іоносферних радіохвиль

2.1. Процедура прогнозування втрат поширення іоносферних (просторових) радіохвиль у діапазоні частот від 150 кГц до 1 700 кГц визначена Рекомендацією ITU-R P.1147. Вона базується на результатах експериментальних вимірювань у смугах частот, розподілених радіомовній службі, і застосовується переважно для прогнозування втрат поширення радіохвиль у нічний час на трасах загальною протяжністю від 50 км до 12 000 км.

2.2. Відповідно до положень цієї Рекомендації річне медіанне значення напруженості поля у нічний час розраховують за формулою:

$$E = V + E_0 - L_t = V + G_s - L_p + Y - 20 \lg p - L_a - L_t - L_r, \quad (5)$$

де: E — річна медіана півгодинних медіанних значень напруженості поля для хвилерушійної сили передавача V , у визначений час t відносно заходу або сходу Сонця;

E_0 — річна медіана півгодинних медіанних значень напруженості поля для хвилерушійної сили передавача 300 В в еталонний час; визначається за кривими залежності E_0 від відстані в діапазонах низьких частот (далі – НЧ) та середніх частот (далі – СЧ) для постійних геомагнітних широт (коли G_s , L_p і R дорівнюють нулю, де R — міжнародне відносне число сонячних плям, згладжене за 12 місяців);

- V — хвилерушійна сила передавача у дБ відносно еталонної хвилерушійної сили, $V_{\text{ет}}=300$ В. Хвилерушійна сила є добутком напруженості поля, яка створюється передавачем у цій точці спостереження, і відстані від передавача до цієї точки за умови послаблення радіохвиль у вільному просторі (Земля не впливає на поширення радіохвиль);
- G_s — поправка, яка враховує підсилення через вплив моря відповідно до пункту 2.4 цього розділу;
- L_p — додаткові втрати, які виникають внаслідок явища деполяризації відповідно до пункту 2.5 цього розділу;
- Y — постійна величина для різних діапазонів частот. Для діапазону НЧ $Y=110,2$. Для діапазону СЧ $Y=107$, за винятком трас, середні точки яких розташовані в частині Району 3 на південь від паралелі 11° південної широти (в таких випадках $Y=110$);
- r — дальність нахильного розповсюдження відповідно до пункту 2.6 цього розділу;
- L_a — додаткові втрати, які виникають за рахунок іоносферного поглинання та пов'язаних з ним ефектів відповідно до пункту 2.7 цього розділу;
- L_t — так звані погодинні втрати зазначено у пункті 2.8 цього розділу;
- L_r — додаткові втрати, які враховують вплив сонячної активності, зазначені у пункті 2.9 цього розділу.

2.3. Значення хвилерушійної сили передавача V розраховують за формулою:

$$V = P + G_V + G_H, \quad (6)$$

- де: P — випромінювана потужність, дБкВт;
- G_V — коефіцієнт підсилення передавальної антени у вертикальній площині дБ;
- G_H — коефіцієнт підсилення передавальної антени в горизонтальній площині, дБ. Для спрямованої антени значення G_H залежить від азимута випромінювання, тоді як для всеспрямованих антен $G_H = 0$.

2.4. Коефіцієнт підсилення за рахунок впливу моря, G_s , характеризує додаткове підсилення сигналу, коли передавач і/або приймач розташовані поблизу моря. Якщо приймач або передавач розташовані поблизу прісного водоймища, цей коефіцієнт не враховується. Коефіцієнт G_s розраховується за формулами:

$$G_s = G_0 - c_1 - c_2 \text{ для } (c_1 + c_2) < G_0, \quad (7)$$

$$G_s = 0 \text{ для } (c_1 + c_2) \geq G_0, \quad (8)$$

- де: G_0 — підсилення за рахунок впливу моря, коли приймач розташовується на узбережжі, а траса не закривається будь-якою частиною суші, дБ;
- c_1 — поправка, яка враховує віддалення приймача від моря;

c_2 — поправка, яка враховує ширину водних каналів на морі або наявність островів. Якщо приймач і передавач розташовані поблизу моря, то G_s є сумою часткових коефіцієнтів, розрахованих відносно приймача і передавача.

У Рекомендації ITU-R P.1147 наведено графік залежності значень G_0 від d для діапазонів НЧ і СЧ.

Значення поправки c_1 розраховується за формулами:

$$c_1 = \frac{s_1}{r_1} G_0, \quad (9)$$

де: s_1 — відстань від приймача до моря, яка вимірюється по дузі “великого кола”, км;

$$r_1 = \frac{10^3 \times G_0^2}{Q_1 \times f}, \text{ км}, \quad (10)$$

де: f — робоча частота, кГц;

Q_1 — постійний коефіцієнт; для НЧ $Q_1 = 0,30$, а для СЧ на $Q_1 = 1,4$.

Значення поправки c_2 розраховується за формулою:

$$c_2 = \begin{cases} \alpha \times G_0 \left(1 - \frac{s_2}{r_2} \right), & \text{для } s_2 < r_2; \\ 0, & \text{для } s_2 < r_2. \end{cases} \quad (11)$$

де: s_2 — віддалення приймача від наступної ділянки суші, яке вимірюється по дузі “великого кола”, км;

$$r_1 = \frac{10^3 \times G_0^2}{Q_2 \times f}, \text{ км}, \quad (12)$$

де: Q_2 — постійний коефіцієнт; для НЧ $Q_2 = 0,25$, а для СЧ на $Q_1 = 1,25$;

α — частина суші на ділянці траси від r_2 до s_2 ($0 < \alpha \leq 1$).

2.5. Додаткові втрати, які виникають за рахунок деполяризації L_p , розраховуються так. Для діапазону низьких частот вважається, що значення показника L_p дорівнює 0. Для діапазону середніх частот значення показника L_p розраховується за формулою:

$$L_p = \begin{cases} 180(36 + \theta^2 + I^2) - 2, & \text{при } I \leq 45^\circ \\ 0, & \text{при } I > 45^\circ \end{cases}, \quad (13)$$

де: I — магнітний нахил на Північ або Південь (у градусах) в точці розміщення приймача;

θ — азимут траси у градусах, який обчислено відносно магнітного напрямку Схід — Захід так, що $|\theta| \leq 90^\circ$.

У визначенні параметрів θ і I треба використовувати всесвітні карти магнітного нахилу і схилу, наведені в Рекомендації ITU-R P.1147-4.

2.6. Для трас, протяжність яких становить більше ніж 1 000 км, значення дальності нахильного розповсюдження p обирається рівним відстані вздовж земної поверхні між передавачем та приймачем, d , км. Для коротших трас:

$$p = \sqrt{(d^2 + 40000)} \quad (14)$$

2.7. Коефіцієнт втрат, який враховує вплив явища іоносферного поглинання радіохвиль, їх фокусування, а також втрати в приймачі на трасах з неодноразовим відбиттям хвиль від Землі та іоносфери (траси з багатьма стрибками), розраховуються за формулою:

$$L_a = k \sqrt{\frac{p}{1000}}, \quad (15)$$

де: k — коефіцієнт основних втрат, $k = 2\pi + 4,95 \text{tg}^2 \Phi$;

Φ — геомагнітна широта середньої точки траси. Північні широти вважаються позитивними, південні — негативними.

Для визначення параметра Φ можна скористатися всесвітньою картою геомагнітних широт, наведеною в Рекомендації ITU-R P.1147-4.

Якщо визначене за картою значення $\Phi > +60^\circ$, у розрахунках вважають, що $\Phi = +60^\circ$. Якщо визначене за картою значення $\Phi < +60^\circ$, у розрахунках вважають, що $\Phi = -60^\circ$.

Якщо довжина траси становить більше ніж 3 000 км, її розділяють на дві рівні ділянки, для кожної з яких за допомогою вищенаведеного рівняння обчислюють відповідне значення k . Для обчислення значення напруженості поля використовується алгебраїчне середнє з двох значень k , отриманих для кожної з ділянок траси.

2.8. Графік погодинних втрат L_t наведено у Рекомендації ITU-R P.1147-4. Час t обчислюється в годинах відносно часу сходу або заходу Сонця залежно від конкретного сценарію.

Для трас довжиною $d < 2\,000$ км цей час обирається як час на поверхні Землі в середній точці траси. Для трас протяжністю більше ніж 2000 км він визначається в точках на відстані 750 км від кожної з сторін радіолінії, а обраний час належить до точки, де кут місця Сонця вищий. Великі значення погодинного коефіцієнта втрат у полудневий час не визначаються. Для цього проміжку часу використовується граничне значення коефіцієнта погодинних втрат, яке дорівнює 30 дБ.

Погодинні втрати не враховуються для трас, розташованих на високих широтах, та для сезонів, коли Сонце не сходить та не заходить.

2.9. Значення коефіцієнта втрат, який враховує вплив сонячної активності, залежать від діапазону використовуваних частот і розраховуються за формулами:

у діапазоні НЧ вважають, що $L_r = 0$ дБ;

у діапазоні СЧ, якщо $|\Phi| \leq 45^\circ$, вважають, що $L_r = 0$ дБ;

в діапазоні СЧ, якщо $|\Phi| > 45^\circ$, $L_r = b \left(\frac{R}{100} \right) \left(\frac{p}{1000} \right)$, дБ, (16)

де: $b = \frac{|\Phi| - 45}{3}$, за винятком Європи, де $b = 1$.

Траси протяжністю більше ніж 3 000 км розділяються на дві рівні ділянки. Для кожної ділянки обчислюється своє значення L_r , після чого їх складають.

2.10. Еталонним вважається час через шість годин після заходу Сонця в точці S на земній поверхні. Якщо довжина траси не перевищує 2 000 км, то точка S знаходиться на її середині. На протяжніших трасах S розташовується на відстані 750 км вздовж “дуги великого кола” від приймача з пізнішим заходом Сонця.

2.11. Час заходу і сходу Сонця з точністю до ± 2 хв для неполярних районів, таких де $|\alpha| < 65^\circ$, розраховується відповідно до нижченаведеного покрокового алгоритму.

Крок 1. Визначення вихідних даних для розрахунку:
порядковий номер дня року — n ;
приблизний місцевий час події (сходу Сонця, заходу Сонця) — S' ;
зенітний кут Сонця, в град — Z .

Крок 2. Розраховується довгота в точці спостереження за формулою:

$$B = \frac{\beta}{15}, \text{ год} \quad (17)$$

Крок 3. Розраховується час події за формулою:

$$X = n + \frac{(S' - B)}{24}, \text{ день} \quad (18)$$

Крок 4. Розраховується середня сонячна аномалія за формулою:

$$M = 0,985600X - 3,289, \text{ град} \quad (19)$$

Крок 5. Розраховується довгота Сонця за формулою:

$$H = M + 1,916 \sin M + 0,020 \sin 2M + 282,634, \text{ град} \quad (20)$$

Крок 6. Розраховується пряме сходження Сонця за формулою:

$$\text{tg} R_s = 0,91746 \text{tg} H \quad (21)$$

Крок 7. Розраховується схилення Сонця за формулою:

$$\sin S = 0,39782 \sin H \quad (22)$$

Примітка. $\sin S$ може бути як від'ємною, так і додатною величиною, тоді як $\cos S$ завжди додатній.

Крок 8. Розраховується місцевий часовий кут Сонця за формулою:

$$\cos W = \frac{(\cos Z - \sin s \cdot \sin \alpha)}{\cos s \cdot \cos \alpha} \quad (23)$$

Якщо $|\cos W| > 1$, немає ні сходу ні заходу Сонця. Для сходу Сонця $180 < W < 360$, тоді як для заходу Сонця $0 < W < 180$.

Крок 9. Розраховується місцевий час події за формулою:

$$S = \frac{W}{15} + \frac{R_s}{15} - 0,065710X - 6,622 \quad (24)$$

Для S повинна виконуватися умова $0 < S < 24$. Якщо $S > 24$, розраховане значення треба збільшити або зменшити на число, кратне 24, щоб виконати зазначену умову. Оскільки S це місцевий час, то час у поясі можна розрахувати за формулою:

$$S'' = S - B + \frac{\beta_m}{15}, \quad (25)$$

де β_m — довгота опорного меридіана.
