

ЗАТВЕРДЖЕНО

Наказ Адміністрації Державної
служби спеціального зв'язку
та захисту інформації України
26 жовтня 2021 року № 634

МЕТОДИКА

розрахунків електромагнітної сумісності для присвоєння радіочастот
радіоелектронним засобам фіксованої служби

I. Загальні положення

1. Методику розрахунків електромагнітної сумісності для присвоєння радіочастот радіоелектронним засобам фіксованої служби (далі — Методика) розроблено відповідно до частини першої статті 41 Закону України “Про радіочастотний ресурс України”.

2. Ця Методика встановлює порядок проведення розрахунків умов електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів фіксованої служби у смугах частот загального користування.

3. Ця Методика дозволяє проводити аналізування сценаріїв виникнення завад та розраховувати параметри ЕМС РЕЗ фіксованої служби та РЕЗ інших радіослужб у смугах частот загального користування.

II. Терміни та визначення понять

Нижче подано терміни та визначення позначених ними понять, вжиті в цій Методиці:

корисний сигнал — електромагнітний сигнал між однотипними радіозасобами (радіозасобами однієї системи радіозв'язку), призначений для передавання повідомлень між кореспондентами;

основний канал прийому — смуга частот, що знаходиться в межах смуги пропускання приймача і призначена для приймання сигналу;

побічний канал прийому — смуга частот за межами основного каналу прийому радіоприймача, з якої небажаний сигнал може проходити на вихід приймача;

фіксована служба — служба радіозв'язку між визначеними фіксованими пунктами.

Інші терміни вживаються у значеннях, наведених у Законі України “Про радіочастотний ресурс України”.

III. Скорочення та позначки

Нижче подано позначки та скорочення, вжиті у цій Методиці:

АЧХ — амплітудно-частотна характеристика;

ДСА	– діаграма спрямованості антени;
ЕМО	– електромагнітна обстановка;
ЕМС	– електромагнітна сумісність;
КУПС	– коефіцієнт уражених помилками секунд;
КХПЯ	– коефіцієнт хвилин поганої якості;
МСЕ	– міжнародний союз електрозв'язку;
ITU-R	– сектор радіозв'язку (МСЕ);
ITU-T	– сектор стандартизації електрозв'язку (МСЕ);
РЕЗ	– радіоелектронний засіб.

IV. Процедура розрахунку ЕМС РЕЗ фіксованої служби

1. Розрахунок ЕМС РЕЗ фіксованої служби складається із шести послідовних етапів, а саме:

попереднє оцінювання ЕМО в районі планування нового частотного присвоєння;

попереднє оцінювання належної якості функціонування окремих РЕЗ або сукупності РЕЗ у визначеній ЕМО;

визначення сценаріїв створення взаємних завад РЕЗ у районі планування нового частотного присвоєння;

визначення характеристик РЕЗ для проведення розрахунків ЕМС РЕЗ;

розрахунок ЕМС РЕЗ відповідно до визначених сценаріїв створення взаємних завад;

оцінка забезпечення ЕМС РЕЗ за наслідками проведених розрахунків.

2. ЕМО у районі планування нового частотного присвоєння попередньо оцінюється шляхом територіального і частотного відбору потенційно несумісних РЕЗ.

Під час аналізування ЕМС РЕЗ дуплексного радіозв'язку оцінка ЕМО проводиться у два етапи. На першому етапі оцінюються випадки можливого виникнення завад від діючих РЕЗ новому РЕЗ. На другому етапі розглядаються випадки, коли новий РЕЗ може бути джерелом завад діючим РЕЗ.

Територіальний відбір потенційно несумісних РЕЗ проводиться на підставі визначення параметрів (форми, діаметра або радіуса) і побудови контура розрахункової зони відбору. Параметри розрахункової зони визначаються залежно від типу та сценарію розгортання планованого РЕЗ.

Усі діючі РЕЗ, які потрапили у простір, обмежений контуром розрахункової зони, вважаються потенційними джерелами завад і обираються для подальшого аналізу ЕМС.

Під час планування систем дуплексного радіозв'язку побудову контура розрахункової зони виконують окремо для кожної із станцій залежно від типу досліджуваного сценарію.

Частотний відбір конфліктуючих РЕЗ виконують шляхом ідентифікації і селекції діючих (або планованих) частотних присвоєнь РЕЗ, які потрапили в розрахункову зону. У частотному відборі конфліктуючих РЕЗ враховують усі

можливі види завад, канали проникнення завад і негативні явища (інтермодуляція, блокування тощо), які можуть призвести до погіршення якості функціонування діючих РЕЗ та/або нового РЕЗ.

За наслідками попереднього оцінювання завадової обстановки формується впорядкована вибірка потенційно небезпечних джерел завад, які підлягають подальшому дослідженню.

3. Попереднє оцінювання якості функціонування окремих РЕЗ або їх сукупності виконують на підставі базових вимог до якості функціонування РЕЗ і якості зв'язку, з урахуванням технічних характеристик досліджуваних РЕЗ та ЕМО в районі планування частотного присвоєння. У разі потреби визначаються допуски на погіршення показників якості функціонування РЕЗ (якості зв'язку) через можливий вплив потенційних джерел завад, які створюються іншими РЕЗ, що потрапили в розрахункову зону.

Критерієм попереднього оцінювання якості функціонування РЕЗ є припустиме відношення потужності сигналу до рівня потужності шумів на вході приймача РЕЗ, за якого забезпечується належне та безперебійне функціонування РЕЗ і передавання повідомлень із заданою імовірністю безпомилкового прийому.

У визначенні показників якості функціонування РЕЗ фіксованої служби необхідно використовувати рекомендації і нормативні значення показників, визначені в додатку 1 до цієї Методики.

4. Сценарій взаємодії для нового планованого РЕЗ і РЕЗ, які потрапили в розрахункову зону, визначають за наслідками попередньої оцінки виявлених завад у районі планування нового частотного присвоєння.

Сценарії створення взаємних завад РЕЗ фіксованої служби і РЕЗ інших радіослужб поділяють на парні і групові. У парних сценаріях досліджується вплив однієї ненавмисної завади (одного РЕЗ) на один рецептор (іншого РЕЗ). У групових сценаріях досліджують вплив сукупності джерел завад (декількох РЕЗ) на один рецептор.

При цьому враховуються умови розгортання, характеристики спрямованості антен, територіальне рознесення і просторова орієнтація планованого і діючих РЕЗ.

Під час визначення типу сценарію створення взаємних завад РЕЗ, який буде досліджуватися, використовуються такі сценарії:

1) дуельні сценарії досліджують у таких випадках:
якщо оцінюють вплив нового присвоєння на діючі;
за високої просторової вибіркості РЕЗ (з використанням гостроспрямованих антен);

у разі високої частотної вибіркості приймача, за рахунок якої знижується вплив завад на прийом корисного сигналу в неосновних каналах;

у разі високої захищеності приймача щодо блокування і інтермодуляції (використання високоякісних фільтрів і новітньої елементної бази);

2) групові сценарії досліджують у таких випадках:
оцінка впливу сукупності діючих присвоєнь на нове;

низька просторова вибірковість РЕЗ (у разі використання антен з круговою спрямованістю);

наявність зони обслуговування РЕЗ, параметри якої можуть погіршуватися внаслідок впливу завад від декількох джерел одночасно;

низька частотна вибірковість приймача.

5. Розрахунок ЕМС РЕЗ фіксованої служби проводиться відповідно до розділу 1 додатка 2 до цієї Методики.

У розрахунках ЕМС РЕЗ враховуються тип сценарію створення взаємних завад РЕЗ, яких вважають потенційно конфліктуючими, види завад, канали можливого проникнення завад (основний і неосновні) і негативні явища, які визначають у частотному відборі конфліктуючих РЕЗ.

Умови виникнення завад в основному і неосновних каналах прийому, а також умови виникнення інших негативних явищ, які можуть погіршити якість функціонування РЕЗ, наведені в пунктах 2.2, 2.4 — 2.9 розділу 2 додатка 2 до цієї Методики.

6. Забезпечення ЕМС РЕЗ оцінюється перевіркою виконання узагальненого енергетичного критерію ЕМС РЕЗ, який визначається за формулою:

$$\frac{P_c}{P_z} \geq A(\Delta f), \quad (1)$$

де: P_c — потужність корисного сигналу на вході приймача;

P_z — потужність завади на вході приймача (для групових сценаріїв — сумарний рівень завади на вході приймача);

$A(\Delta f)$ — захисне відношення приймача-рецептора завади.

Під час перевірки виконання визначеного критерію ЕМС РЕЗ враховуються такі параметри:

відсоток часу, протягом якого спостерігається погіршення зв'язку внаслідок впливу завад і невиконання умов ЕМС РЕЗ (p %);

відсоток місць, у яких не виконуються умови ЕМС РЕЗ;

припустима напруженість поля сигналу завади на межі зони обслуговування (у разі потреби);

напруженість поля корисного сигналу, яка забезпечує належну якість функціонування кінцевого обладнання у зоні обслуговування базової станції (у разі потреби).

V. Розрахунок ЕМС РЕЗ фіксованої служби

1. ЕМС РЕЗ фіксованої служби розраховується відповідно до розділу 1 додатка 2 до цієї Методики.

2. Показники, за якими перевіряється виконання умов ЕМС, відповідно до узагальненого енергетичного критерію розраховуються окремо для кожного з визначених сценаріїв створення взаємних завад РЕЗ.

3. У розрахунках ЕМС РЕЗ фіксованої служби визначаються такі показники ЕМС:

- рівень корисного сигналу на вході приймача;
- рівні сигналів на вході приймача-рецептора завади від усіх потенційних джерел завад, які вважаються потенційно небезпечними для нового частотного присвоєння, відповідно до визначеного сценарію створення взаємних завад;
- рівень сигналу передавача РЕЗ, для якого виконується присвоєння радіочастот у сценаріях, де планований РЕЗ вважають потенційним джерелом завад іншим діючим РЕЗ;
- сумарний рівень завад на вході досліджуваного приймача від декількох джерел завад (у разі аналізування групових сценаріїв);
- показник деградації порогу чутливості приймача-рецептора завади (у разі використання методу гармонізованих обчислень).

У розрахунках показників ЕМС РЕЗ обов'язково враховуються значення відсотка часу, протягом якого повинні виконуватися прогнозовані значення вищенаведених показників ЕМС.

4. Під час дослідження дуельних сценаріїв створення взаємних завад РЕЗ проєктується і попередньо аналізується профіль траси між джерелом і рецептором завади. У групових сценаріях профіль траси проєктується окремо для кожної пари “джерело-рецептор” завади, але у розрахунках ЕМС визначається сукупний вплив усіх джерел завад на досліджуваний приймач.

Для побудови профілю траси використовуються стандартизовані цифрові або топографічні карти географічного району, де планується розміщення нового РЕЗ.

Попередній аналіз профілю траси виконується з урахуванням характеристик щодо просторової орієнтації та ДСА досліджуваних РЕЗ, а також типу місцевості, над якою проходить траса.

За наслідками попереднього аналізу профілю траси проводиться класифікація типу траси і обирається метод розрахунку показника, який характеризує умови поширення радіохвиль на трасі визначеного типу.

5. Побудова профілю виконується з урахування такого:

1) використовуючи дані щодо географічних координат розміщення РЕЗ і топографічні позначки, на обраній карті визначаються точки розташування РЕЗ, задіяні у сценарії, що розглядається;

2) профіль траси будується у вертикальній площині вздовж лінії, що з'єднує точки розташування РЕЗ, з використанням даних про рельєф місцевості та характеристики антен;

3) на побудованому профілі траси електричні центри антен з'єднуються прямою лінією (лінією прямої видимості);

4) якщо лінія прямої видимості перекрита топографічними об'єктами місцевості (горби, будівлі, щільні засадження тощо) із заданими висотами підвісу антен, зв'язок може бути нестабільним або відсутнім;

5) якщо лінія прямої видимості не зачіпає топографічних перешкод на трасі, проводиться уточнювальний аналіз для прогнозування переважаючих механізмів поширення радіохвиль на трасі відповідного типу;

6) для уточнювального аналізу навколо лінії прямої видимості окреслюється еліпсоїд Френеля (перша зона Френеля), верхівки якого повинні збігатися з електричними центрами передавальної та приймальної антен;

7) радіус першого еліпсоїда Френеля у точці між передавачем і приймачем розраховується за формулою, наведеною у Рекомендації ITU-R P.526:

$$R_{Fn} = 550 \sqrt{\frac{n d_1 d_2}{(d_1 + d_2) f}}, \text{ м}, \quad (2)$$

де: f — частота, МГц;

d_1 і d_2 — відстань від передавача і приймача до точки, в якій розраховуються радіус еліпсоїда, км;

n — порядковий номер еліпсоїда.

8) якщо у першій зоні Френеля (в окремих випадках у 60 % першої зони Френеля) немає топографічних перешкод, вважається, що радіохвилі розповсюджуються по лінії прямої видимості;

9) за наявності топографічних перешкод у першій зоні Френеля траса вважається частково або повністю закритою і поширення радіохвиль може відбуватися за рахунок дифракції радіохвиль;

10) дифракція радіохвиль може мати місце і в тих випадках, де спостерігається викривлення лінії прямої видимості через негативну атмосферну рефракцію.

6. Рівень корисного сигналу на вході приймача розраховується за формулою:

$$P_c = P_{c.\text{прд}} - L_{\text{заг.с}}, \text{ дБВт}, \quad (3)$$

де: $P_{c.\text{прд}}$ — потужність передавача джерела корисного сигналу, дБВт;

$L_{\text{заг.с}}$ — загальні втрати поширення радіохвиль між джерелом і рецептором корисного сигналу.

У разі відсутності даних щодо характеристик передавача корисного сигналу рівень корисного сигналу на вході приймача обирається рівним граничній чутливості приймача.

У разі потреби рівень корисного сигналу на вході приймача може бути розраховано за алгоритмом і експериментальними графіками прогнозування напруженості поля, наведеними у Рекомендації ITU-R P.1546.

7. Рівень завади на вході приймача від одного джерела завади розраховується за формулою:

$$P_z = P_{z.\text{прд}} - L_{\text{заг.з}}, \text{ дБВт}, \quad (4)$$

де: $P_{z.\text{прд}}$ — потужність передавача джерела завади, дБВт;

$L_{\text{заг.з}}$ — загальні втрати поширення радіохвиль між джерелом і рецептором завади, дБ.

8. У розрахунках рівнів завад на вході приймача від одного або декількох джерел враховуються наслідки частотного відбору потенційно небезпечних (щодо створення завад) РЕЗ, визначені канали можливого проникнення завад і негативні явища, які можуть мати місце у тому або іншому сценарії створення взаємних завад РЕЗ.

Завади в основних і неосновних каналах прийому розраховуються відповідно до рекомендацій, викладених у розділі 2 додатка 2 до цієї Методики, з урахуванням положень пункту 4 розділу VI цієї Методики.

У розрахунках інтермодуляційних завад у приймачі використовується схема розрахунку поправки E'_{h_2} , наведена у додатку 3 до цієї Методики.

9. Сумарний рівень завад від декількох джерел на вході приймача-рецептора завади (іноді — їх нелінійне поєднання) розраховується за формулою:

$$E_{\Sigma\text{зав}} = \sum_{i=1}^n 10^{\text{NFS}_i/10} \quad (5)$$

Показник NFS у місці встановлення приймача є значенням напруженості поля, яку створює одне джерело завади, та скоригований відповідно до цього сценарію і характерних умов взаємодії досліджуваних РЕЗ. Значення показника розраховується за формулою:

$$\text{NFS} = E_z + A_{\text{cor}} - B - C, \quad (6)$$

де: E_z — напруженість поля сигналу завади в точці розташування приймача-рецептора завади, дБмкВ/м;

A_{cor} — скориговане значення захисного відношення, яке відповідає конкретному сценарію взаємодії конфліктуючих РЕЗ і визначено з урахуванням типу взаємодіючих сигналів і рознесення їхніх несучих частот, дБ;

B — коефіцієнт, який враховує реальні умови і особливості розповсюдження радіохвиль та характеристики місця розташування джерела і рецептора завади відповідно до цього сценарію взаємодії РЕЗ, дБ;

C — коефіцієнт, який враховує властивості приймальної антени (поляризацію, підсилюючі властивості у заданому напрямку тощо), дБ.

10. Під час проведення частотних присвоєнь для РЕЗ фіксованої служби, які працюють у дуплексному режимі, враховується, що планований РЕЗ може бути одночасно як рецептором, так і джерелом завад для інших діючих РЕЗ.

Для аналізу сценаріїв, де нове присвоєння вважається джерелом можливих завад для вже діючих РЕЗ, використовують процедуру, описану в пунктах 1 — 9 цього розділу. При цьому рецепторами завад вважають усі приймачі діючих РЕЗ, в розрахункову зону яких потрапляє планований РЕЗ.

11. За наслідками розрахунків ЕМС приймається рішення щодо виконання умов ЕМС РЕЗ за критерієм, визначеним у пункті 6 розділу IV цієї Методики.

Якщо умови ЕМС не виконуються, розглядають можливість забезпечення ЕМС РЕЗ накладання в обмежень на технічні характеристики планованого РЕЗ.

Якщо визначені обмеження не забезпечують його повноцінне функціонування, частотне присвоєння вважається неможливим.

12. Якщо показники ЕМС РЕЗ розраховуються за методом гармонізованих обчислень (далі – НСМ), розрахунок рівнів сигналів завад і корисних сигналів, а також оцінку можливих каналів проникнення завад у приймачі виконують за формулами, визначеними у пунктах 6 – 9 цього розділу.

Відповідно до алгоритму НСМ для значення рівня завади на вході приймача розраховується показник деградації порогу чутливості (далі – TD) досліджуваного приймача-рецептора завади, який визначає міру необхідного збільшення мінімального рівня корисного сигналу на вході приймача у разі зниження рівня його граничної чутливості внаслідок впливу завад від одного або декількох джерел.

Значення параметра TD розраховується за формулою:

$$TD = 10 \lg(1 + 10^{(P_z - N_0)/10}), \text{ дБ}, \quad (7)$$

де: N_0 — рівень шуму приймача на його вході, дБВт;

P_z — загальна потужність завад на вході приймача, дБВт.

Рівень шуму приймача розраховується за формулою:

$$N_0 = kT\Delta F, \quad (8)$$

де: k — постійна Больцмана, $k = 1,38 \times 10^{-23}$;

T — абсолютна шумова температура;

ΔF — смуга частот, у якій визначається потужність шуму.

Чутливість приймача для необхідного значення відношення сигнал/шум (h^2) розраховується за формулою:

$$P_{\text{чут}} = kT\Delta Fh^2(T_A/T + III - 1), \quad (9)$$

де: T_A — абсолютна шумова температура антени;

ΔF — ефективна шумова смуга пропускання;

$III = T/T_0$ — так званий температурний коефіцієнт шуму, який враховує відмінність температури приймача від так званої стандартної температури $T_0 = 293^\circ\text{K}$;

h^2 — необхідне відношення сигнал/шум на вході приймача (по потужності).

За розрахованим значенням параметра TD коригується гранична чутливість приймача, яка порівнюється зі значенням рівня корисного сигналу на вході приймача, розрахованим за формулою, наведеною в пункті 6 цього розділу. За наслідками порівняння приймаються рішення щодо можливості сумісної експлуатації досліджуваних РЕЗ.

Якщо енергетичний потенціал радіолінії перевищує скориговане значення порогу чутливості, вважається, що умови ЕМС РЕЗ виконані.

Вплив планованого РЕЗ на діючі досліджується за аналогічною процедурою.

VI. Розрахунок енергетичних втрат передавання в лінії радіозв'язку

1. Енергетичні втрати передавання у лінії радіозв'язку визначаються характеристиками апаратурних елементів лінії (фільтрами, фідерами, антенами і властивостями середовища поширення радіохвиль (станом середовища, атмосферними явищами тощо)).

2. Відповідно до положень Рекомендації ITU-R P.341 для різних перетинів лінії радіозв'язку розрізняють:

загальні втрати лінії радіозв'язку — $L_{\text{заг}}$;

базові (основні) втрати лінії радіозв'язку — L_b ;

втрати, додаткові до втрат поширення радіохвиль у вільному просторі; системні втрати.

Значення втрат у різних перетинах лінії радіозв'язку оцінюються у логарифмічних одиницях, дБ.

Під час розрахунків ЕМС РЕЗ визначаються базові і загальні втрати лінії радіозв'язку.

3. Загальні втрати лінії радіозв'язку між джерелом і рецептором корисного сигналу розраховуються за формулою:

$$L_{\text{заг.с}} = L_{\text{а.прд}} - G_{\text{прд}}(\varphi_{\text{прм}}) + L_b - G_{\text{прм}}(\varphi_{\text{прд}}) + L_{\text{а.прм}}, \text{ дБ}, \quad (10)$$

де: $L_{\text{а.прд}}$ і $L_{\text{а.прм}}$ — втрати в антені передавача і приймача, з урахуванням ослаблення у фідерах і фільтрах, дБ;

$G_{\text{прд}}(\varphi_{\text{прм}})$ — коефіцієнт підсилення антени передавача у напрямку приймача, дБ;

$G_{\text{прм}}(\varphi_{\text{прд}})$ — коефіцієнт підсилення антени приймача у напрямку передавача, дБ;

L_b — базові втрати лінії радіозв'язку.

4. Загальні втрати в лінії радіозв'язку між джерелом і рецептором завади розраховуються за формулою:

$$L_{\text{заг.з}} = L_{\text{а.прд.з}} - G_{\text{прд.з}}(\varphi_{\text{прм}}) + L_b - G_{\text{прм}}(\varphi_{\text{прд.з}}) + L_{\text{а.прм}} + \text{XPD} + \text{FDR}, \text{ дБ}, \quad (11)$$

де: $L_{a.прд.з}$ і $L_{a.прм}$ — втрати в антенах передавача сигналу завади і в антенах приймача-рецептора завади з урахуванням ослаблення у фідерах і фільтрах;
 $G_{прд.з}(\varphi_{прм})$ — коефіцієнт підсилення антени передавача, що створює завади у напрямку приймача, на який спрямовано сигнал завади;
 $G_{прм}(\varphi_{прд.з})$ — коефіцієнт підсилення антени приймача, на який впливає сигнал завади, у напрямку передавача, що створює завади;
FDR — коефіцієнт частотної вибіркості приймача, який визначає ступінь ослаблення завади через різні несучі частоти корисного сигналу, сигнал завади та різну ширину смуги пропускання приймача і смуги випромінювання передавача;
XPD — коефіцієнт додаткового послаблення, яке залежить від поляризаційної вибіркості антен.

5. Розрахунок базових втрат лінії радіозв'язку у різних типах середовищ передбачає моделювання трас поширення радіохвиль і/або прогнозування рівня сигналу (напруженості поля сигналу) на заданій відстані від передавача, а також прогнозування зміни рівня сигналу залежно від ситуації на трасі (в середовищі) за відомими експериментально отриманими даними.

6. Прояв різних механізмів поширення радіохвиль на трасі відповідного типу залежить від кліматичних умов, частоти, відсотка часу, що розглядається, довжини і топографічних характеристик траси.

На трасах у реальному середовищі одночасно можуть проявлятися декілька механізмів поширення радіохвиль.

7. Переважаючий механізм поширення радіохвиль для траси відповідного типу визначається з урахуванням такого:

1) у реальному середовищі, залежно від використовуваної ділянки смуги частот від 0,1 ГГц до 60 ГГц, діють такі механізми поширення радіохвиль:

поширення радіохвиль у вільному просторі (під яким розуміється однорідне безмежне непоглинаюче середовище, значення відносної діелектричної та магнітної проникності якого дорівнюють одиниці);

поширення радіохвиль в умовах прямої видимості, довжину якої між станціями-кореспондентами з антенами висотою h_1 і h_2 обчислюють за формулою:

$$d_{LoS}(\text{км}) = 3,57\sqrt{h_1^2(\text{м}) + h_2^2(\text{м})} \quad (12)$$

дифракція радіохвиль (спостерігається на закритих ($d_{LoS} \ll d$) і напівзакритих ($d_{LoS} \approx d$) трасах, або може бути наслідком негативної атмосферної рефракції на трасах прямої видимості);

тропосферне розсіювання радіохвиль;

аномальне поширення радіохвиль (внаслідок рефракції, через штучні хвильоводи тощо);

2) через неоднорідний стан земної атмосфери в реальному середовищі спостерігаються такі явища, які впливають на поширення радіохвиль:

гідрометеорне розсіювання і поглинання радіохвиль;

рефракція радіохвиль;

відбиття радіохвиль від об'єктів місцевості;

3) для оцінювання впливу тропосфери на поширення радіохвиль користуються експериментальними даними про фізико-хімічні властивості газів і парів води;

4) під час проходження радіохвилями нижніх шарів атмосфери з різною щільністю виникає явище атмосферної рефракції радіохвиль та викривлення траєкторії поширення радіохвиль у вертикальній площині, ступінь якого змінюється у часі через коливання атмосферного тиску, температури і вологості. Кількісною мірою заломлення радіохвиль є приведений коефіцієнт заломлення або індекс (градієнт) атмосферної рефракції N ;

5) для трас з дифракцією радіохвиль характерна наявність двох областей (зон) поширення:

освітленої зони (від передавача до об'єкта, що закриває трасу);

затіненої/напівзатіненої зони (за об'єктом у напрямку приймача);

6) у неоднорідному середовищі внаслідок випаровування води і насичення тропосфери її парами спостерігаються випадки утворення штучних атмосферних хвильоводів (переважно над водною поверхнею);

7) навіть у разі істотного поглинання радіохвиль діапазону від 10 ГГц до 60 ГГц у тропосфері існують “вікна радіопрозорості” — ділянки спектра, в яких поглинання в атмосферних газах є значно меншим порівняно із сусідніми смугами частот гігагерцового діапазону (для прикладу, на частоті близько 22,3 ГГц є пік поглинання, значення якого становить 0,2 дБ/км, тоді як у сусідній смузі частот від 30,5 ГГц до 40 ГГц його значення зменшується до 0,03 дБ/км).

У Рекомендації ITU-R P.1058 наведено перелік типових об'єктів, які можуть відбивати радіохвилі, та характеристики щодо їхньої відбиваючої здатності;

8) розсіяння радіохвиль у гідрометеорах (дощ, сніг, туман) може відбуватися у всіх напрямках, через що виникають завади між станціями, для яких в нормальних умовах подібних завад не спостерігається.

8. У розрахунках базових втрат лінії радіозв'язку для визначеного механізму поширення радіохвиль і траси відповідного типу використовуються положення таких Рекомендацій ITU-R:

у розрахунках базових втрат поширення радіохвиль у вільному просторі — положення Рекомендації ITU-R P.525;

у розрахунках базових втрат поширення радіохвиль на трасах прямої видимості — положення Рекомендації ITU-R P.530;

у розрахунках базових втрат поширення радіохвиль на трасах з дифракцією радіохвиль — положення Рекомендації ITU-R P.526.

9. Формули для розрахунку базових втрат лінії радіозв'язку, які характеризують різні механізми поширення радіохвиль на трасах відповідного типу, наведені у розділі 1 додатка 4 до цієї Методики.

Для прогнозування втрат поширення радіохвиль між джерелом і рецептором корисного сигналу використовуються графіки для 50 % часу і 50 % місць розташування. Під час прогнозування базових втрат поширення радіохвиль між джерелом і рецептором завад використовуються графіки для 10 % часу і 50 % місць розташування.

10. Для отримання більш точних результатів прогнозування базових втрат лінії радіозв'язку між джерелом і рецептором завади застосовуються положення Рекомендації ITU-R P.452.

Розрахунки базових втрат лінії радіозв'язку між джерелом і рецептором завади, які відповідають положенням зазначеної Рекомендації, наведено у розділі 4 додатка 4 до цієї Методики.

11. Коефіцієнт частотної вибіркості приймача розраховується графічним або спрощеним методом.

Метод графічного розрахунку коефіцієнта частотної вибіркості приймача використовується тоді, коли відомі стандартизовані характеристики спектральної маски випромінювання передавача і АЧХ вхідного фільтра приймача.

У розрахунках коефіцієнта частотної вибіркості приймача графічним методом використовуються положення, викладені у розділі 1 додатка 5 до цієї Методики.

Якщо характеристики спектральної маски випромінювання передавача і АЧХ вхідного фільтра приймача не відомі, коефіцієнт частотної вибіркості приймача розраховується спрощеним методом відповідно до розділу 2 додатка 5 до цієї Методики.

12. Значення XPD розраховується за формулою:

$$XPD = a_{\text{ант}(r)} - 10 \lg \left(1 + 10^{\frac{a_{\text{ант}(r)} - a_{\text{ант}(k)}}{10}} \right), \text{ дБ}, \quad (13)$$

де: $a_{\text{ант}(r)}$ і $a_{\text{ант}(k)}$ — сумарне ослаблення сигналу в антенах з різною поляризацією, дБ;

індекси r і k визначають тип поляризації (H — горизонтальна, V — вертикальна).

Замість розрахованого значення показника XPD можуть використовуватися такі експериментально отримані значення:

у разі горизонтальної поляризації антени рецептора завади і вертикальної поляризації антени джерела завади XPD дорівнює мінус 3 дБ (незалежно від величини коефіцієнта підсилення антени);

у разі горизонтальної антени рецептора завади і кругової поляризації антени джерела завади XPD дорівнює від мінус 16 дБ до мінус 20 дБ (залежно від величини коефіцієнта підсилення антени);

у разі вертикальної поляризації антени рецептора завади і горизонтальної поляризації антени джерела завади XPD дорівнює від мінус 16 дБ до мінус 20 дБ (залежно від величини коефіцієнта підсилення антени);

у разі вертикальної антени рецептора завади і кругової поляризації антени джерела завади XPD дорівнює мінус 3 дБ (незалежно від величини коефіцієнта підсилення антени);

у разі кругової поляризації антени рецептора завади і горизонтальної поляризації антени джерела завади XPD дорівнює мінус 3 дБ (незалежно від величини коефіцієнта підсилення антени);

у разі кругової поляризації антени рецептора завади і вертикальної поляризації антени джерела завади XPD дорівнює мінус 3 дБ (незалежно від величини коефіцієнта підсилення антени);

у разі кругової поляризації антени рецептора завади і кругової поляризації антени джерела завади XPD дорівнює мінус 16 дБ (у разі різного напрямку обертання вектора поляризації), у протилежному випадку — $XPD = 0$ дБ.

VII. Урахування характеристик спрямованості антен у розрахунках ЕМС РЕЗ фіксованої служби

1. Властивості спрямованості антен, які використовують РЕЗ фіксованої служби, що працюють у діапазоні частот від 1 ГГц до 60 ГГц, визначаються відповідно до Рекомендації ITU-R F.1245.

2. Відповідно до Рекомендації ITU-R F.1245 для систем фіксованого зв'язку топології “точка — точка”, які працюють у смугах частот діапазону від 1 ГГц до 60 ГГц і використовують параболічні або рупорно-параболічні антени, ДСА описується так:

1) якщо відношення діаметра параболічної або рупорно-параболічної антени (D) до довжини хвилі (λ) перевищує 100 одиниць, діаграма спрямованості антени описується формулами:

$$G(\varphi) = G_{\max} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2, \quad \text{якщо } 0 < \varphi < \varphi_m, \quad (14)$$

$$G(\varphi) = G_1, \quad \text{якщо } \varphi_m < \varphi < \max(\varphi_m, \varphi_r), \quad (15)$$

$$G(\varphi) = 29 - 25 \lg \varphi, \quad \text{якщо } \max(\varphi_m, \varphi_r) < \varphi < 48^\circ, \quad (16)$$

$$G(\varphi) = -13, \quad \text{якщо } 48^\circ < \varphi < 180^\circ, \quad (17)$$

де: $G_{\max}$ — коефіцієнт підсилення антени відносно ізотропного випромінювача, дБ;

φ — кут відхилення від напрямку максимального випромінювання, град;

$$G_1 = 2 + 15 \lg \left(\frac{D}{\lambda} \right) \quad (18)$$

коефіцієнт підсилення антени в напрямку орієнтації першої бічної пелюстки;

$$\varphi_m = \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{\max} - G_1}, \quad (19)$$

$$\varphi_r = 12.02 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-0.6}, \quad (20)$$

2) коли відношення діаметра параболічної або рупорно-параболічної антени (D) до довжини хвилі (λ) менше за 100 одиниць, діаграма спрямованості антени відповідно до Рекомендації ITU-R F.1245 може бути описана формулами:

$$G(\varphi) = G_{\max} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2, \quad \text{якщо } 0 < \varphi < \varphi_m, \quad (21)$$

$$G(\varphi) = 39 - 5 \lg \left(\frac{D}{\lambda} \right) - 25 \lg \varphi, \quad \text{якщо } \varphi_m < \varphi < 48^\circ, \quad (22)$$

$$G(\varphi) = -3 - 5 \lg \left(\frac{D}{\lambda} \right), \quad \text{якщо } 48^\circ < \varphi < 180^\circ. \quad (23)$$

3. Для систем з топологією “точка — багато точок” (переважно систем розподільного типу), які використовують секторні антени, ДСА описується формулами:

$$G(\varphi) = G_0 - 12 \left(\frac{\theta}{\varphi_3} \right)^2, \quad \text{якщо } 0 < \theta < \varphi_3, \quad (24)$$

$$G(\varphi) = G_0 - 12 - 10 \lg \left(\frac{\theta}{\varphi_3} \right), \quad \text{якщо } \varphi_3 < \theta < 90^\circ, \quad (25)$$

$$G(\varphi) = -3 - 5 \lg \left(\frac{D}{\lambda} \right), \quad \text{якщо } 48^\circ < \varphi < 180^\circ, \quad (26)$$

де: G_0 — максимальне значення коефіцієнта підсилення антени в горизонтальній площині, дБ;

θ — кут випромінювання відносно горизонтальної площини, град;

$$\varphi_3 = \frac{1}{\alpha^2 - 0,818}, \quad (27)$$

$$\alpha = \frac{10^{0,1G_0} + 172,4}{191}. \quad (28)$$

4. Для визначення коефіцієнта підсилення антени в заданому напрямку використовуються такі дані:

діаграма спрямованості антени в горизонтальній площині;

діаграма спрямованості антени у вертикальній площині;
 кут азимуту максимального випромінювання (прийому);
 кут нахилу (кут місця) максимального випромінювання (прийому);
 поляризація сигналу випромінювання (прийому).

5. Коефіцієнт підсилення антени в довільному напрямку (в напрямку точки спостереження) розраховується за формулою:

$$G(\theta, \varphi) = G_0 \times \sqrt{F(\theta)^2 + F(\varphi)^2}, \quad (29)$$

де: $G(\theta, \varphi)$ — коефіцієнт підсилення антени в напрямку точки спостереження;

G_0 — коефіцієнт підсилення антени в напрямку максимального випромінювання;

$F(\varphi)$ — нормоване значення діаграми спрямованості антени у горизонтальній площині в напрямку точки спостереження;

$F(\theta)$ — нормоване значення діаграми спрямованості антени у вертикальній площині в напрямку точки спостереження;

φ — горизонтальний кут діаграми спрямованості антени для заданої точки спостереження;

θ — вертикальний кут діаграми спрямованості антени для заданої точки спостереження.

6. Розрахунок горизонтального φ та вертикального θ кутів ДСА для заданої точки спостереження проводиться з урахуванням характеристик місця розташування (координат точки встановлення) антен відповідно до схем розрахунку горизонтального та вертикального кутів ДСА для заданої точки спостереження, викладених у додатку 6 до цієї Методики. У розрахунках враховується, що антени передавача і приймача можуть бути встановлені на неоднорідній місцевості.

Під час визначення горизонтального кута ДСА (φ) для заданої точки спостереження використовуються такі дані:

напрямок “північ”;

азимут максимального випромінювання;

напрямок випромінювання, для якого виконують обчислення.

Під час визначення вертикального кута ДСА (θ) для заданої точки спостереження використовуються такі дані:

висота антен над рівнем моря;

висота підйому антен у точках А і В;

відстань між проекціями точок А і В на лінії рівня “моря”;

кут місця головної пелюстки ДСА;

кут місця у напрямку А — В.

7. Для слабо спрямованих антен ($G < 10$ дБ), що мають спрямованість, відмінну від спрямованості півхвильового вібратора, ширина ДСА якого у вертикальній площині становить 84° , а у горизонтальній площині 40° , коефіцієнт підсилення антени визначається порівнянням ширини пелюсток

ДСА антени, яка задіяна у розрахунках, і ширини ДСА цього півхвильового вібратора.

8. Коефіцієнт підсилення середньоспрямованої антени ($10 \text{ дБ} < G < 25 \text{ дБ}$) розраховується за наближеною формулою:

$$G \approx \frac{30 \cdot 10^3}{2\theta_{0,5\rho} \cdot 2\varphi_{0,5\rho}}, \quad (30)$$

де: $\theta_{0,5\rho}$ — ширина ДСА у вертикальній площині, град.;

$\varphi_{0,5\rho}$ — ширина ДСА у горизонтальній площині, град.

Отримане значення виражається у логарифмічних одиницях.

9. Для визначення коефіцієнта підсилення панельної антени (антенної решітки) використовуються характеристики діаграми спрямованості і параметри антени, яка побудована на основі плоскої прямокутної синфазної лінійної решітки.

Коефіцієнт підсилення антенної решітки розраховується за формулою:

$$G = 20 \cdot \lg(m \cdot n \cdot (1 - \cos kl)) , \text{ дБ}, \quad (31)$$

де: $k = 2\pi/\lambda$;

λ — довжина хвилі (м);

m — кількість рядків на антенній решітці;

n — кількість вібраторів у рядку;

l — довжина плеча вібратора (м).

Нормовані діаграми антенних решіток у горизонтальній та вертикальній площинах визначаються як добуток діаграми спрямованості вібратора або елементарного випромінювача та множника системи.

VIII. Визначення величини захисного відношення приймача

1. Значення захисного відношення визначають у логарифмічних одиницях.

2. Під час оцінки ЕМС РЕЗ використовуються значення захисного відношення по частоті $A(\Delta f)$ для конкретного сценарію створення взаємних завад РЕЗ.

3. Захисні відношення $A_{\text{доп}}$ визначають аналітичним або експериментальним шляхом.

4. Для визначення захисних відношень для РЕЗ фіксованої служби використовуються положення, викладені в Рекомендаціях ITU-R F.240 та ITU-R F.758.

5. Для окремих типів цифрових РЕЗ фіксованої служби значення захисного відношення можуть змінюватися в широкому діапазоні і визначаються відповідно до положень конкретного стандарту, враховуючи застосовувані види модуляції, завадостійкого кодування тощо.

6. Експериментальне визначення величини захисного відношення проводиться вимірюванням мінімально допустимого рівня корисного радіосигналу і максимально допустимого рівня завади на вході радіоприймача за умови забезпечення необхідної якості функціонування РЕЗ.

Опис експериментальної установки для визначення величини захисного відношення приймача наведено у додатку 7 до цієї Методики.

7. Під час визначення захисних відношень і умов ЕМС РЕЗ враховується специфіка впливу на основний канал прийому позаканальних завад і завад, які попадають в основний канал. Вплив позаканальних завад зазвичай слабший внаслідок фільтрації у підсилювачах проміжної частоти приймача.

8. Якщо несуча частота сигналу завади не збігається із частотою прийому корисного сигналу (позаканальні завади), значення захисного відношення зменшується на величину коефіцієнта частотної вибіркості приймача. У цьому випадку в розрахунках загальних втрат у лінії радіозв'язку між джерелом і рецептором завади за формулою, наведеною у пункті 4 розділу VI цієї Методики, коефіцієнт частотної вибіркості FDR не враховується.

Директор Департаменту
розвитку електронних комунікацій
Адміністрації Держспецзв'язку

Василь МЕКЕНЧЕНКО