

ЗАТВЕРДЖЕНО  
Наказ Адміністрації Державної  
служби спеціального зв'язку  
та захисту інформації України  
13 серпня 2021 року № 500

## МЕТОДИКА

розрахунків електромагнітної сумісності для присвоєння радіочастот  
радіоелектронним засобам рухомої служби

### I. Загальні положення

1. Методику розрахунків електромагнітної сумісності для присвоєння радіочастот радіоелектронним засобам рухомої 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 рухомої служби у смугах частот загального користування.

### II. Терміни та визначення понять

Нижче наведено терміни та визначення позначених ними понять, вжиті у цій Методиці:

електромагнітне оточення — сукупність електромагнітних явищ, процесів у заданій зоні простору, смузі частот та інтервалі часу;

інтермодуляція в приймачі — виникнення завад на виході радіоприймача внаслідок дії на його нелінійні елементи двох або більше радіозавад на частотах, які не збігаються із частотами основного та побічного каналів прийому;

корисний сигнал — електромагнітний сигнал, призначений для функціонування технічного засобу;

необхідна ширина смуги частот — ширина смуги частот для певного класу випромінювання, яка достатня для забезпечення передавання повідомлень з необхідною швидкістю і якістю за визначених умов;

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

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:

|     |                                       |
|-----|---------------------------------------|
| МСЕ | – міжнародний союз електрозв'язку;    |
| АЧХ | – амплітудно-частотна характеристика; |
| ДСА | – діаграма спрямованості антени;      |
| ЕМС | – електромагнітна сумісність;         |
| ЕМО | – електромагнітне оточення;           |
| РЕЗ | – радіоелектронний засіб.             |

### IV. Розрахунок ЕМС РЕЗ рухомої служби радіозв'язку

1. Розрахунок ЕМС РЕЗ рухомої служби радіозв'язку складається із шести послідовних етапів, а саме:

попереднє оцінювання ЕМО у районі планування нового частотного присвоєння;

попереднє оцінювання належної якості функціонування окремих РЕЗ або сукупності РЕЗ у визначеному 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 здійснюється на підставі визначення параметрів (форми, діаметру або радіусу) і побудови контуру 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.

Частотний відбір конфліктуючих РЕЗ виконується шляхом ідентифікації і селекції діючих (або планованих) частотних присвоєнь РЕЗ, які потрапили у розрахункову зону. У частотному відборі конфліктуючих РЕЗ враховуються усі можливі види завад, канали проникнення завад і негативні явища

(інтермодуляція, блокування тощо), які можуть призвести до погіршення якості функціонування діючих і нових РЕЗ.

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

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

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

Сценарії створення взаємних завад РЕЗ рухомої 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:

оцінки впливу сукупності діючих присвоєнь на нове;

низька просторова вибірковість РЕЗ (при використанні всеспрямованих антен);

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

низька частотна вибірковість приймача.

5. Розрахунок ЕМС РЕЗ рухомого радіозв'язку проводиться відповідно до розділу 1 додатка 1 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.

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 абонентського кінцевого обладнання у зоні обслуговування базової станції (у разі потреби).

## V. Розрахунки ЕМС РЕЗ рухомої служби

1. ЕМС РЕЗ рухомої служби розраховуються відповідно до розділу 1 додатка 1 до цієї Методики.

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

3. У розрахунках ЕМС РЕЗ рухомої 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 від декількох джерел завад на вході досліджуваного приймача (у разі аналізування групових сценаріїв).

У розрахунках показників ЕМС РЕЗ враховуються значення відсотка часу, протягом якого повинні виконуватися прогнозовані значення наведених 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 здійснюється 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 здійснюється 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'єднують 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 уточнюючий аналіз для прогнозування переважаючих механізмів поширення радіохвиль на трасі відповідного типу;

6) для уточнюючого аналізу навколо лінії прямої видимості окреслюється еліпсоїд Френеля (першу зону 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, відповідно, 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 у тих випадках, де спостерігається викривлення лінії прямої видимості з-за негативної атмосферної рефракції.

6. Під час аналізування сценаріїв, в яких досліджуваний РЕЗ рухомого радіозв'язку, запланований до введення в експлуатацію, є базовою або рухомою станцією мережі радіозв'язку, будується контур зони обслуговування базової станції. У сценаріях, де досліджується вплив на приймач рухомої станції, зазначена базова станція повинна бути для неї обслуговуючою.

Контур зони обслуговування базової станції будується на підставі розрахунку 36 значень потужності випромінювання по напрямках з дискретним кроком  $10^\circ$  відносно точки встановлення базової станції, при цьому враховується таке:

рівень корисного сигналу повинен забезпечувати належну якість функціонування рухомих станцій протягом щонайменше 50 % часу в усій зоні обслуговування, яка покриває щонайменше 50 % місць;

потенційні джерела завад, які потрапили у розрахункову зону, можуть створювати неприпустимі завади на вході приймача рухомої станції, що може призвести до звуження контуру зони обслуговування базової станції і невиконання мінімальних вимог до покриття.

7. 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.

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

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

де:  $P_{з.прд}$  — потужність передавача джерела завади, дБВт;  
 $L_{заг.з}$  — загальні втрати поширення радіохвиль між джерелом і рецептором завади.

9. 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 розділі 3 додатка 3 до цієї Методики.

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

$$E_{\Sigma зав} = \sum_{i=1}^n 10^{NFS_i/10}. \quad (5)$$

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

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

де:  $E_z$  — напруженість поля сигналу завади у 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.

11. У сценаріях, де досліджується вплив одного або декількох джерел завад на приймач рухомої станції мережі рухомого (мобільного) зв'язку, яка знаходиться у межах зони покриття обслуговуючої базової станції, необхідно додатково розрахувати показник UFS. Зазначений показник являє собою напруженість поля, що створюється передавачем базової станції на межі зони обслуговування, дозволяє компенсувати шкідливий вплив одного або декількох джерел завад на обслуговуваний приймач рухомої станції та забезпечити виконання мінімальних вимог щодо покриття і якості прийому у приймачі рухомої станції. Значення показника UFS розраховується за формулою:

$$UFS = 10 \times \lg(10^{E_{\min}/10} + \sum_{i=1}^n 10^{NFS_i/10}), \quad (7)$$

де:  $E_{\min}$  – мінімальна напруженість поля, розрахована, виходячи з необхідності забезпечення функціонування приймача із заданою якістю в умовах відсутності на його вході завад, крім природних і індустріальних шумів.

У розрахунках значення  $E_{\min}$  обирається таким, що дорівнює медіанному значенню напруженості поля, розрахованому з умови необхідності забезпечення належної якості зв'язку в 50 % місць протягом 50 % часу.

12. У розрахунках EMC РЕЗ, розміщених на локальному об'єкті, використовується схема проведення розрахунків EMC РЕЗ, яка наведена у розділі 1 додатка 2 до цієї Методики.

## 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 EMC РЕЗ визначаються базові і загальні втрати лінії радіозв'язку.

3. Розрахунок загальних втрат лінії радіозв'язку між джерелом і рецептором корисного сигналу проводиться за формулою:

$$L_{\text{заг.с}} = L_{\text{а.прд}} - G_{\text{прд}}(\varphi_{\text{прм}}) + L_b - G_{\text{прм}}(\varphi_{\text{прд}}) + L_{\text{а.прм}}, \text{ дБ}, \quad (8)$$

де:  $L_{a.прд}$  і  $L_{a.прм}$  — втрати в антені передавача і приймача відповідно з урахуванням ослаблення у фідерах і фільтрах, дБ;  
 $G_{прд}(\varphi_{прм})$  — коефіцієнт підсилення антени передавача у напрямку приймача, дБ;  
 $G_{прм}(\varphi_{прд})$  — коефіцієнт підсилення антени приймача у напрямку передавача, дБ;  
 $L_b$  — базові втрати лінії радіозв'язку.

4. Розрахунок загальних втрат у лінії радіозв'язку між джерелом і рецептором завади проводиться за формулою:

$$L_{заг.з} = L_{a.прд.з} - G_{прд.з}(\varphi_{прм}) + L_b - G_{прм}(\varphi_{прд.з}) + L_{a.прм} + XPD + FDR, \text{ дБ}, \quad (9)$$

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 здійснюється вплив сигналу 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 і 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, розглядуваного відсотка часу, 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 задіяної ділянки смуги частот 29 — 3 000 МГц 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  $h_2$  обчислюються за формулою:

$$d_{LoS}(\text{км}) = 3,57\sqrt{h_1^2(\text{м}) + h_2^2(\text{м})}; \quad (10)$$

дифракція радіохвиль (яка 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 у реальному середовищі спостерігаються 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 використовуються експериментальні дані 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 наведений 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 трапляються випадки утворення штучних атмосферних хвильоводів (переважно над водною поверхнею).

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

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;

у розрахунках базових втрат поширення радіохвиль між близько розташованими РЕЗ і РЕЗ локальних радіомереж, які працюють у смузі частот від 300 МГц до 100 ГГц — положення Рекомендації ITU-R P.1411;

у розрахунках базових втрат поширення радіохвиль між РЕЗ, розташованими всередині приміщень і РЕЗ локальних зонових радіомереж, які працюють у смузі частот 0,9 — 100 ГГц, — положення Рекомендації ITU-R P.1238.

9. Формули для розрахунку базових втрат лінії радіозв'язку, які характеризують різні механізми поширення радіохвиль на трасах відповідного типу, наведені у розділі 1 додатка 3 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 виконується з урахуванням положень Рекомендації ITU-R P.452.

Розрахунки базових втрат лінії радіозв'язку між джерелом і рецептором завади, які відповідають положенням вищезазначеної рекомендації, наведено у розділі 4 додатка 3 до цієї Методики.

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

Метод графічного розрахунку коефіцієнта частотної вибіркості приймача використовується у тому випадку, коли відомі стандартизовані характеристики спектральної маски випромінювань передавача і АЧХ вхідного фільтра приймача.

У розрахунках коефіцієнта частотної вибіркості приймача графічним методом використовуються положення, викладені у розділі 1 додатка 4 до цієї Методики.

Якщо характеристики спектральної маски випромінювань передавача і АЧХ вхідного фільтра приймача не відомі, коефіцієнт частотної вибіркості приймача розраховуються спрощеним методом відповідно до розділу 2 додатка 4 до цієї Методики.

12. Значення коефіцієнта додаткового послаблення XPD розраховується за формулою:

$$\text{XPD} = a_{\text{ант}(r)} - 10 \lg \left( 1 + 10^{\frac{a_{\text{ант}(r)} - a_{\text{ант}(k)}}{10}} \right), \text{ дБ}, \quad (11)$$

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 —  $\text{XPD} = 0$  дБ.

## VII. Урахування характеристик спрямованості антен у розрахунках ЕМС РЕЗ рухомої служби радіозв'язку

1. У розрахунках ЕМС РЕЗ використовуються стандартизовані значення коефіцієнта підсилення антени, які визначені у специфікації на відповідний тип антенного обладнання. Якщо специфікації немає, значення коефіцієнта підсилення антени розраховується за відомими характеристиками ДСА і параметрами, які характеризують конструктивні особливості антени.

2. Під час визначення коефіцієнта підсилення антени у заданому напрямку використовуються такі дані:

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

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

$$G(\theta, \varphi) = G_0 \times \sqrt{F(\theta)^2 + F(\varphi)^2}, \quad (12)$$

де:  $G(\theta, \varphi)$  – коефіцієнт підсилення антени у напрямку точки спостереження;  
 $G_0$  – коефіцієнт підсилення антени у напрямку максимального випромінювання;

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

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

$\varphi$  – горизонтальний кут діаграми спрямованості антени для заданої точки спостереження;

$\theta$  – вертикальний кут діаграми спрямованості антени для заданої точки спостереження.

4. Розрахунок горизонтального  $\varphi$  та вертикального  $\theta$  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 розділі 1 додатка 5 до цієї Методики. У розрахунках враховується, що антени передавача і приймача можуть бути встановлені на неоднорідній місцевості.

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

- напрямок “північ”;
- азимут максимального випромінювання;
- напрямок випромінювання, для якого здійснюється обчислення.

Під час визначення вертикального кута ДСА ( $\theta$ ) 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.

5. Для слабо спрямованих антен ( $G < 10$  дБ), що мають спрямованість, відмінну від спрямованості півхвильового вібратора, ширина ДСА якого у вертикальній площині становить  $84^\circ$ , а у горизонтальній площині  $40^\circ$ , коефіцієнт підсилення антени визначається порівнянням ширини пелюсток ДСА антени, яка задіяна у розрахунках, і ширини ДСА цього півхвильового вібратора.

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

$$G \approx \frac{30 \cdot 10^3}{2\theta_{0,5\rho} \cdot 2\varphi_{0,5\rho}}, \quad (13)$$

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.

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

Коефіцієнт підсилення антенної решітки розраховується за формулою:

$$G = 20 \cdot \lg(m \cdot n \cdot (1 - \cos kl)) , \text{ дБ}, \quad (14)$$

де:  $k = 2\pi/\lambda$ ;

$\lambda$  — довжина хвилі, м;

$m$  — кількість рядків на антенній решітці;

$n$  — кількість вібраторів у рядку;

$l$  — довжина плеча вібратора, м.

8. У розрахунках об'єктової ЕМС РЕЗ замість значень коефіцієнта підсилення антени використовуються значення щільності потоку потужності поля антени у ближній зоні, яке характеризує поле антени у ближній зоні.

9. Для опису спрямованих властивостей антен у ближній зоні визначаються межі ближньої і перехідної зони.

10. Для антен апертурного типу значення відстані до межі початку дальньої зони у напрямку головного випромінювання розраховується за формулою:

$$R_{\text{дз}} = \frac{2H^2}{\lambda}, \quad (15)$$

де  $R_{\text{дз}}$  — відстань від центра антени до межі початку дальньої зони, м;

$H$  — висота апертури антени (діаметр), м;

$\lambda$  — довжина хвилі, м.

11. Для реальних антен, які використовуються у системах сухопутного рухомого (мобільного) зв'язку (розміром не більше  $(5 — 6) \lambda$ ), відстань до межі дальньої зони для напрямку неосновного (бокового) випромінювання обирається рівною  $R_{дз} = 10 \lambda$ .

12. Відстань до межі ближньої зони антени розраховується за формулою:

$$R_{бз} = \frac{H^2}{4\lambda}. \quad (16)$$

Значення відстані до дальньої межі перехідної зони розраховується за формулою:

$$R_{пз} = \frac{0,6H^2}{\lambda}. \quad (17)$$

13. У розрахунках значення щільності потоку потужності поля антени у ближній зоні враховується, якщо вона змінюється залежно від напрямку.

У напрямку головного випромінювання максимальна щільність потоку потужності розраховується за формулою:

$$S_{бз} = \frac{16 \cdot \eta \cdot P_{прд}}{\pi \cdot L^2}, \quad (18)$$

де:  $S_{бз}$  – щільність потоку потужності у ближній зоні, Вт/м<sup>2</sup>;

$P_{прд}$  – потужність передавача на вході антени, Вт;

$\eta$  – т.зв. ефективність апертури антени, тобто відношення ефективної площі апертури до фізичної площі антени (знаходиться у межах 0,5 — 0,75).

14. Для будь якої точки перехідної зони значення щільності потоку потужності розраховується за формулою:

$$S_{пз} = \frac{S_{бз} R_{бз}}{R}, \quad (19)$$

де:  $R$  – відстань від геометричного центру антени до точки спостереження, м;

$S_{пз}$  – щільність потоку потужності у перехідній зоні, Вт/м<sup>2</sup>.

15. Значення щільності потоку потужності у дальній зоні розраховується за формулою:

$$S_{дз} = \frac{P_{прд} \cdot G(\theta, \varphi)}{4 \cdot \pi \cdot R^2}, \quad (20)$$

де:  $S_{дз}$  — щільність потоку потужності у дальній зоні, Вт/м<sup>2</sup>.

16. Для циліндричної моделі антени еквівалентна опосередкована по простору щільність потоку потужності визначається розподілом загальної вхідної потужності антени по поверхні уявного циліндра, що охоплює всю довжину антени.

Для вертикальної колінеарної симетричної та спрямованої антен щільність потоку потужності у будь-якій точці спостереження розраховується за формулою:

$$S = \frac{P_{\text{прд}}}{2 \cdot \pi \cdot RH}, \quad (21)$$

де:  $P_{\text{прд}}$  — потужність передавача на вході антени, Вт;  
 $R$  — відстань від антени, м;  
 $H$  — висота апертури антени, м.

17. Для антен секторного типу щільність потоку потужності у секторі визначається кутовою долею циліндричної поверхні, що займає сектор, та розраховується за формулою:

$$S_{\text{сектор}} = \left( \frac{180^\circ}{\theta} \right) \frac{P_{\text{прд}}}{\pi \cdot RH}, \quad (22)$$

де:  $\theta$  — ширина основної пелюстки діаграми спрямованості секторної антени у горизонтальній площині, град.

18. Щільність потоку потужності і напруженість поля у точці спостереження визначається за формулою:

$$E = S + 145.8, \quad (23)$$

де:  $E$  — напруженість поля, дБмкВ/м.

19. Припускаючи, що потужність, яку випромінює антена у ближній зоні, розподілена у циліндричному об'ємі навколо електричної осі антени з площею поперечного перетину, яка дорівнює площі апертури антени, коефіцієнт підсилення антени розраховується за формулою:

$$G = \frac{4\pi R^2}{L}, \quad (24)$$

де:  $R$  — відстань від антени до точки спостереження, м;  
 $L$  — площа апертури антени, м<sup>2</sup>.

20. Якщо антена має прямокутну апертуру, для розрахунку коефіцієнта підсилення антени у ближній зоні використовуються експериментальні графіки, наведені у розділі 2 додатка 5 до цієї Методики. За наведеними графіками визначають поправку  $\Delta G_{\text{бз}}$  до коефіцієнта підсилення антени у напрямку максимального випромінювання  $G_0$  для ближньої зони.

З урахуванням поправки  $\Delta G_{\text{бз}}$  коефіцієнт підсилення антени у ближній зоні  $G_{\text{бз}}$  розраховується за формулою:

$$G_{\text{бз}} = G_0 - \Delta G_{\text{бз}}, \quad (25)$$

де  $G_0$  — коефіцієнт підсилення антени у напрямку головного випромінювання.

21. Якщо антени конфліктуючих РЕЗ, розміщених на локальному об'єкті, рознесені у просторі (горизонтально, вертикально, змішано тощо), у розрахунках об'єктової ЕМС РЕЗ враховується додаткове послаблення (розв'язку) радіохвиль за рахунок просторового рознесення антен.

22. Значення додаткового послаблення радіохвиль між антенами, рознесеними у вертикальній площині у ближній зоні  $L_v$ , дБ, розраховується за формулою:

$$L_v = 28 + 40 \lg(H_{\text{верт}} / \lambda), \quad (26)$$

де:  $H_{\text{верт}}$  — вертикальне рознесення між найближчими точками випромінювання антен, м;

$\lambda$  — довжина хвилі, м.

Графіки залежності додаткового послаблення радіохвиль між антенами, розміщеними на локальному об'єкті і рознесені у просторі наведено у розділі 3 додатка 5 до цієї Методики.

23. Для слабоспрямованих антен за умови, що  $R/\lambda > 10$ , додаткове послаблення, яке виникає за рахунок горизонтального рознесення антен  $L_r$ , дБ у ближній зоні, розраховується за формулою:

$$L_r = 22 + 20 \lg \frac{R_{\text{гор}}}{\lambda} - (G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}}), \quad (27)$$

де:  $R$  — відстань по горизонталі між антенами, м;

$G_{\text{прд}}$ ,  $G_{\text{прм}}$  — коефіцієнт підсилення антени передавача і приймача відповідно.

Якщо зазначені умови не виконуються, складові  $G_{\text{прд}}$ ,  $G_{\text{прм}}$  у наведеній формулі не враховуються.

Графіки залежності додаткового послаблення радіохвиль між антенами, розміщеними на локальному об'єкті і рознесені у просторі наведено у розділі 3 додатка 5 до цієї Методики.

24. У разі змішаного рознесення антен (кутове або одночасно горизонтальне та вертикальне) величина додаткового послаблення розраховується за формулами:

$$L_{\text{пр}} = \frac{L_v \cdot H_{\text{верт}} + L_r \cdot R_{\text{гор}}}{H_{\text{верт}} + R_{\text{гор}}}, \text{ дБ}, \quad (28)$$

$$L_{\text{пр}} = (L_v - L_r) \times \frac{\Theta}{90} + L_r, \text{ дБ}, \quad (29)$$

де:  $L_v$ ,  $L_r$  — вертикальна та горизонтальна розв'язка антен відповідно, дБ;

$H_{\text{верт}}$ ,  $R_{\text{гор}}$  — вертикальне та горизонтальне рознесення антен, м;

$\Theta$  — кут змішаного рознесення, град.

### VIII. Визначення величини захисного відношення приймача

1. Значення захисного відношення визначаються 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  $A_{\text{доп}}$  визначаються аналітичним або експериментальним шляхом.

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

Опис експериментальної установки для визначення величини захисного відношення наведено у додатку 6 до цієї Методики.

5. 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 слабкіший внаслідок фільтрації у підсилювачах проміжної частоти приймача.

6. 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 у 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.

Заступник директора Департаменту  
розвитку електронних комунікацій  
Адміністрації Держспецзв'язку

Сергій СТАРОСТЕНКО