

УДК 621.396.2

**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖІ ПРИ ПЕРЕХОДІ  
НА ЦИФРОВЕ НАЗЕМНЕ ЗВУКОВЕ МОВЛЕННЯ**

КОЛЬЦОВА О.С., МАКОВЕЄНКО Д.О.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,  
вул. Ковальська, 1, м. Одеса, 65029, Україна  
Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут радіо і телебачення»,  
вул. Буніна, 31, м. Одеса, 65026, Україна  
dikatama.dm@gmail.com, tango@i.ua*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛАНИРОВАНИЯ СЕТЕЙ ПРИ ПЕРЕХОДЕ  
НА ЦИФРОВОЕ НАЗЕМНОЕ ЗВУКОВОЕ ВЕЩАНИЕ**

КОЛЬЦОВА А.С., МАКОВЕЄНКО Д.А.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,  
ул. Кузнечная, 1, г. Одесса, 65029, Украина  
Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт радио и телевидения»,  
ул. Бунина, 31, г. Одесса, 65026, Украина  
dikatama.dm@gmail.com, tango@i.ua*

**DETERMINATION OF PARAMETERS OF PLANNING NETWORKS DURING THE  
TRANSITION TO DIGITAL TERRESTRIAL SOUND BROADCASTING**

KOLTSOVA O.S., MAKOVEYENKO D.O.

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,  
1 Kovalska St., Odessa 65029, Ukraine  
State enterprise «Ukrainian scientific research institute of radio and television»,  
31 Bunin St., Odessa 65026, Ukraine  
dikatama.dm@gmail.com, tango@i.ua*

**Анотація.** Проведено порівняльне оцінювання значень параметрів планування, що визначають зону покриття для аналогових FM та цифрових DAB+ передавачів. Для аналогового FM мовлення отримано скореговане значення мінімальної медіанної напруженості поля, з урахуванням сучасних вимог до показників роботи приймальної апаратури. Для цифрового мовлення DAB+ надано рекомендації щодо планування мережі в умовах різної забудови.

**Ключові слова:** DAB+, покриття, напруженість поля, модуляція, FM.

**Аннотация.** Проведена сравнительная оценка значений параметров планирования, определяющих зону покрытия для аналоговых FM и цифровых DAB+ передатчиков. Для аналогового FM вещания получено скорректированное значение минимальной медианной используемой напряженности поля с учетом современных требований к показателям работы приемной аппаратуры. Для цифрового DAB+ вещания приведены рекомендации относительно планирования сети в условиях различной застройки.

**Ключевые слова:** DAB+, покрытие, напряжённость поля, модуляция, FM.

**Abstract.** A comparative assessment of the planning parameters values, determining the coverage area for analog FM and digital DAB+ transmitters has been carried out. For analog FM broadcasting an adjusted value of the minimum median field strength was obtained, taking into account up-to-date requirements for receiving equipment performance. For digital DAB+ broadcasting recommendations are given regarding network planning under conditions of various building types.

**Key words:** DAB+ – coverage – field strength – modulation – FM.

## 1 ВСТУП

Смугу радіочастот ДВЧ (174–230 МГц) розподілено радіомовній службі. Згідно Плану використання радіочастотного ресурсу України після відключення аналогового телевізійного мовлення в смузі радіочастот 174–230 МГц заплановано розгортання двох радіотехнологій,

що стосуються до радіомовної служби: цифрового наземного телевізійного мовлення в стандарті DVB-T2 та цифрового наземного звукового мовлення в стандарті DAB (Digital Audio Broadcasting) або DAB+. Регулярне мовлення системи DAB у країнах Європі почалося у 1995 році [1]. В Україні 15 червня 2018 року в Києві почали мовлення перші дев'ять радіостанцій.

На сьогоднішній день в країнах, де ухвалено використання цієї системи, впроваджується її удосконалена версія DAB+ [1]. Стандарт ETSI, яким було визначено систему DAB+, було ухвалено в 2007 році. У системі DAB+ використано більш ефективний аудіокодек (HE-AAC v2), що дозволяє збільшити пропускну здатність в радіоканалі, а також додатково застосовано зовнішнє завадостійке кодування. Для гнучкості планування система DAB+ має декілька рівнів захисту від помилок.

Впровадження і розвиток технології цифрового радіомовлення DAB+ здійснюється досить швидкими темпами у країнах Європи, Азії та у Австралії [1], спостерігається зростання покриття послугами цифрового радіомовлення, з'являються нові програми із різноманітним контентом, і все більша кількість мовників використовує цю технологію.

Із зростанням покриття програмами DAB+ мовлення постає питання щодо відмови з часом від FM мовлення та повного відключення аналогових радіопередавачів звукового мовлення в діапазоні II ДВЧ. Однак таке рішення можна вважати досить суперечливим: з одного боку, впровадження цифрової технології DAB+ дозволить суттєво збільшити кількість програм при економії частотного ресурсу (в стандартному для системи радіоканалі з шириною смуги 1,54 МГц можна передати до 20 програм [2]), а розвиток алгоритмів кодування аудіосигналів (як, наприклад, HE-AAC v2 або xHE-AAC) дозволяє говорити про забезпечення досить високої якості звучання навіть при відносно низьких швидкостях цифрових аудіопотоків. З іншого боку, враховуючи пороговий характер приймання у системах цифрового радіомовлення, існує можливість того, що після вимкнення FM передавачів площа покриття програмами звукового мовлення зменшиться, і внаслідок цього виникне необхідність у збільшенні потужності цифрових передавачів мовних станцій.

Тому у цій роботі авторами виконується попередня порівняльна оцінка можливостей покриття аналоговим FM та цифровим DAB+ мовленням на основі розрахунку необхідного значення такого параметра планування радіомовної служби як мінімальна медіанна напруженість поля в місці приймання  $E_{minmed}$ . Для такого розрахунку необхідно враховувати сучасний стан навколишніх умов приймання (типова забудова місцевості та рівень присутніх шумів), типові характеристики приймального обладнання та вимоги до якості відтворюваного звуку.

Для аналогового FM мовлення стандарти планування було встановлено наприкінці 1990-х років [3] за тогочасних значень рівнів шумів і завад і з того часу не переглядалися.

Питання планування мереж DAB розглянуто у [4–6]. У той же час, застосування нового аудіокодека та додаткового кодера для захисту від помилок в системі DAB+ потребує уточнень щодо значень існуючих параметрів планування мережі цифрового наземного звукового мовлення в смузі радіочастот 174–230 МГц. Тому метою статті є:

- дослідження параметрів фізичного рівня в стандарті цифрового звукового мовлення DAB+;
- рекомендації щодо планування мережі стандарту DAB в умовах різної забудови за умови приймання на автомобільне та портативне обладнання (як найбільш затребуваних у слухацької аудиторії типів приймання);
- визначення мінімальної медіанної напруженості поля для планування FM мовлення з урахуванням сучасних вимог до показників роботи приймальної апаратури у заданих умовах приймання;

– порівняння одержаних значень мінімальної медіанної напруженості поля з метою прогнозування можливого скорочення покриття при переході на цифрове наземне звукове мовлення.

## 2 ПАРАМЕТРИ ПЛАНУВАННЯ СИСТЕМИ DAB+

В Рекомендації ITU-R BS.1660-7 [5] визначено, що мінімальна медіанна напруженість поля для системи T-DAB в смузі частот ДВЧ становить 58 дБмкВ/м та включає:

$$E_{minmed} = E_{min} + C_1 + L_{h_2}, \quad (1)$$

де  $E_{min}$  – мінімальна напруженість поля в місці розташування приймальної антени, дБмкВ/м;

$C_1$  – поправний коефіцієнт, що враховує необхідний відсоток місцеположень, дБ;

$L_{h_2}$  – поправка, що враховує висоту приймальної антени, дБ.

Значення  $E_{min}$  визначено для базової системи T-DAB у разі рухомого або портативного режиму приймання, виходячи з необхідного відношення сигнал/шум ( $C/N$ ), що становить 15 дБ. В удосконаленій системі T-DAB+ існують кілька рівнів передавання, що відрізняються різною пропускну здатністю каналу та заводо захищеністю. В таблиці 1 наведено рівні захисту системи T-DAB+ із різною швидкістю передавання потоку звукового мовлення та кількістю потоків в одному частотному каналі (мультиплексі) [6].

Таблиця 1 – Рівні захисту системи T-DAB+ за умови кодування з рівним ступенем захисту від помилок (EER – Equal Error Protection).

Рівень захисту	Швидкість коду	Необхідне відношення сигнал/шум для режимів приймання:		Загальна швидкість потоку, кбіт/с	Швидкість передавання потоку звукового мовлення, кбіт/с		
		стаціонарний, дБ	рухомий та портативний, дБ		6 потоків	12 потоків	18 потоків
1A	1/4	3,8	7,0	576	96	48	32
2A	3/8	4,4	9,3	864	144	72	48
3A	1/2	5,7	11,8	1152	192	96	64
4A	3/4	8,6	17,3	1728	288	144	96

Поправка  $L_{h_2}$  в [7] становить 10 дБ. У той же час відповідно до Рекомендації ITU-R P.1546-5 [7] поправка, що враховує висоту приймальної антени, залежить від висоти еталонної приймальної антени та частоти:

$$L_{h_2} = 6,03 - J \left( 0,0108 \cdot \sqrt{f \cdot (R_2' - h_2) \arctg \left( \frac{R_2' - h_2}{27} \right)} \right), \quad (2)$$

де  $f$  – частота, МГц;

$R_2'$  – модифікована висота репрезентативної місцевої завади, м;

$h_2$  – висота приймальної антени,  $J(x)$  – функція апроксимації втрат дифракції:

$$J(x) = \left[ 6,9 + 20 \lg \left( \sqrt{(x - 0,1)^2 + 1} + x - 0,1 \right) \right]. \quad (3)$$

На рисунку 1 наведено розраховані значення поправки  $L_{h_2}$  у разі розміщення приймальної антени на висоті 1,5 м для різних висот репрезентативної місцевої завади: 10 м – для

приміського району, 20 м – для міського району та 30 м – для міського району з щільною забудовою.

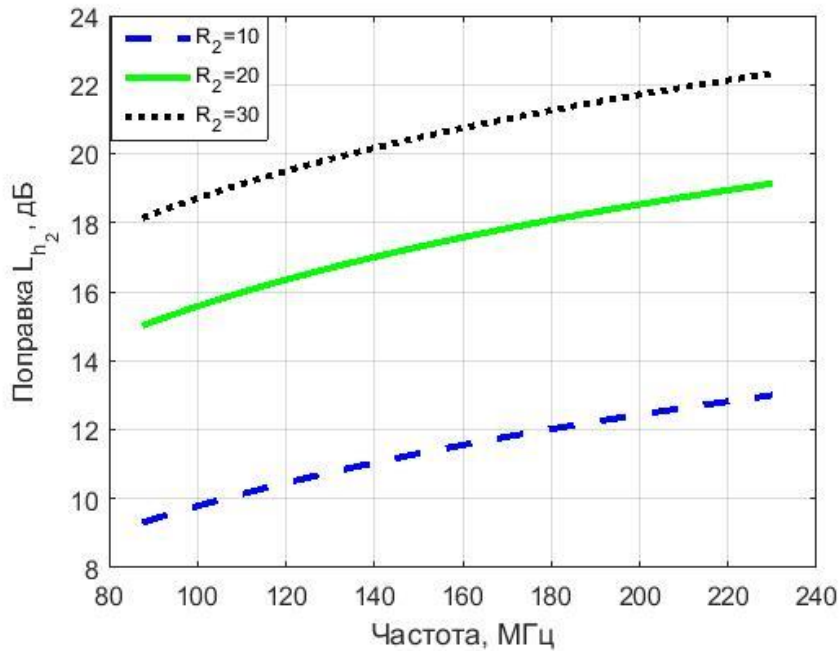


Рисунок 1 – Визначення поправки, що враховує висоту приймальної антени

Додаткове уточнення параметрів мінімальної напруженості поля у місті розташування антени в режимі рухомого або портативного приймання пов'язано з уточненням значень коефіцієнту підсилення приймальної антени та коефіцієнту промислових шумів.

В таблиці 2 наведено типові коефіцієнти підсилення приймальних антен в режимі рухомого або портативного приймання.

Таблиця 2 – Типові коефіцієнти підсилення приймальних антен в режимі рухомого або портативного приймання.

Тип приймання	Тип антени	Коефіцієнт підсилення, дБд
Рухомий	Адаптована	від мінус 5 до мінус 10
Портативний	Вбудована	від мінус 8 до мінус 10

На рисунку 2 наведено залежність коефіцієнта промислових шумів, що враховується при визначенні  $E_{min}$ , від коефіцієнта підсилення приймальної антени для частоти 200 МГц [6].

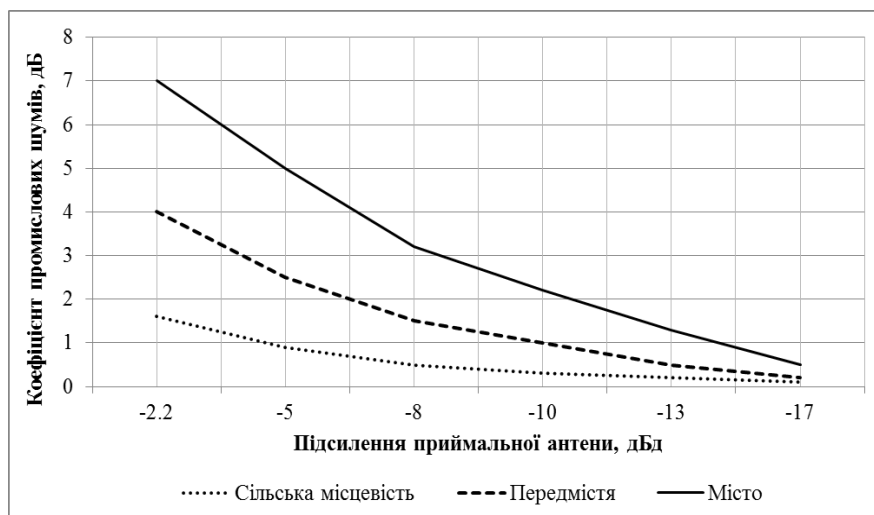


Рисунок 2 – Залежність розрахункового коефіцієнта промислових шумів від підсилення приймальної антени

Поправочний коефіцієнт  $C_l$ , що враховує необхідний відсоток місцеположень становить 12,8 дБ для значення 99 %. В таблиці 3 наведено розрахункові значення мінімальної медіанної напруженості поля для системи T-DAB+ в режимі рухомого або портативного приймання для різних типів забудови і рівнів захисту сигналу. Враховуючи, що межа зони покриття зазвичай проходить в приміському районі, для розрахунку поправки на висоту приймальної антени висота репрезентативної місцевої перешкоди обирається рівною 10 м.

Таблиця 3 – Розрахункові значення мінімальної медіанної напруженості поля для системи T-DAB+ в режимі рухомого або портативного приймання для різних типів забудови

Параметр	Значення							
	Портативний зовні приміщення				Рухомий			
Режим приймання	1А	2А	3А	4А	1А	2А	3А	4А
Рівень захисту	1А	2А	3А	4А	1А	2А	3А	4А
Смуга частот	174–230 МГц							
Необхідне відношення сигнал/шум, дБ	3,8	4,4	5,7	8,6	7,0	9,3	11,8	17,3
Коефіцієнт підсилення приймальної антени, дБд	– 10				– 8			
Коефіцієнт промислових шумів, дБ	0,3				0,5			
Мінімальна напруженість поля в місті розташування приймальної антени, дБмкВ/м	23,96	24,56	25,86	28,76	27,16	29,46	31,96	37,46
Втрати на висоту приймальної антени, дБ	12,4				12,4			
Поправочний коефіцієнт, що враховує необхідний відсоток місцеположень, дБ	9,02 (95 %)				12,8 (99 %)			
Мінімальна медіана напруженість поля в місті розташування приймальної антени для системи T-DAB+, дБмкВ/м	41,33	43,63	46,13	51,63	43,32	45,62	48,12	53,62
Мінімальна медіана напруженість поля для висоти 10 м для системи T-DAB+, дБмкВ/м	53,73	56,03	58,53	64,03	55,72	58,02	60,52	66,02

### 3 ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА НЕОБХІДНИХ ЗНАЧЕНЬ МІНІМАЛЬНОЇ МЕДІАННОЇ НАПРУЖЕНОСТІ ПОЛЯ ДЛЯ АНАЛОГОВОГО FM ТА ЦИФРОВОГО DAB+ МОВЛЕННЯ

Для аналогової радіомовної служби в ДВЧ діапазоні вимога до мінімальної медіанної напруженості поля, встановлена у виді [8]:

$$E_{minmed} \geq E_{u\Sigma} + C/N, \quad (4)$$

де  $E_{u\Sigma}$  – напруженість поля сумарних шумів, дБмкВ/м;

$C/N$  – необхідне значення відношення сигнал/шум на вході приймача, що визначає якість приймання, дБ.

Традиційно при плануванні FM мереж користувалися даними Рекомендації ITU-R BS.412-9 [3], в якій визначено необхідні значення мінімальної медіанної напруженості поля, за впливу завад від індустріального і побутового обладнання, приведені до висоти 10 м над рівнем земної поверхні. Для стереофонічної служби:

- 54 дБмкВ/м – у сільських районах;
- 66 дБмкВ/м – у міських районах;
- 74 дБмкВ/м – у великих містах.

У відповідній примітці зазначено, що за відсутності завад від індустріального і побутового обладнання можна вважати, що напруженість поля 48 дБ(мкВ/м) забезпечить прийнятну якість стереофонічного приймання [3], а для монофонічного приймання це значення складатиме 34 дБмкВ/м.

Тут варто зазначити, що у аналоговому мовленні можливість достатньо якісного приймання існує не тільки на території, де відтворення звуку супроводжується стереоефектом. За відсутності відчутних нелінійних спотворень монофонічне звучання також оцінюється слухачами як таке, що має достатню якість. На тій частині території навколо радіомовної станції, де  $E_{\min med\ stereo} \geq E_{\min med} \geq E_{\min med\ mono}$ , буде також забезпечено покриття мовленням з прийнятною якістю.

Наведені значення мінімальної медіанної напруженості поля для FM мовлення орієнтовані на характеристики еталонного радіомовного ЧМ приймача, зазначені в Рекомендації ITU-R BS.704-0 [9].

Вказана рекомендація була прийнята у 1990 р. і з того часу не переглядалася. Відтоді можна перерахувати ряд досліджень, які були спрямовані на уточнення параметрів планування, враховуючи удосконалення характеристик приймальної апаратури, що відбувалося з часом. Так, значний обсяг досліджень було проведено в 2004 р. швейцарським регулятором в галузі зв'язку Nozema [10], в 2010 р. британським оператором телекомунікаційних мереж Ofcom [11].

Перш за все, дослідження стосувалися уточнення значення відношення сигнал/шум ( $S/N$ ) за звуковою частотою, яке потрібно забезпечити на виході приймача. Цей параметр можна вважати ключовим при визначенні зони покриття. Дослідження показали, що рекомендоване в [9] значення 56 дБ можна знизити на деяке значення, що відповідає типу приймання [11]. У даній роботі розглядається значення відношення за звуковою частотою, що дорівнює 53 дБ для стереоприймання, 40 дБ – для моно.

З урахуванням цих скорегованих даних можна визначити необхідні значення відношення  $C/N$  на вході приймального пристрою. Для цього скористаємося відношенням для систем з ЧМ [11]:

$$S/N = 3m^2 \cdot \left( \frac{P_c}{2N_0 B} \right), \quad (5)$$

де  $B$  – смуга частот модульованого сигналу (53 кГц або 15 кГц для стереофонічного та монофонічного передавання відповідно);

$P_c$  – середнє значення потужності сигналу на вході приймача;

$N_0$  – спектральна потужність густини шуму;

$m$  – індекс модуляції, що дорівнює відношенню девіації частоти до смуги модульованого сигналу:  $m = \Delta f / B$ .

Порівнюємо значення мінімальної медіанної напруженості поля, необхідні для FM стерео- та моноприймання, із значеннями, потрібними для цифрового приймання в системі DAB+. Порівняння наведено для випадку рухомого приймання.

Необхідні значення мінімальної медіанної напруженості поля для системи DAB+ розглядалися для двох рівнів захисту від завад: EEP 3A та EEP 2A (табл. 1).

Вибір рівня захисту для передавання цифрових звукових даних заснований на врахуванні умов поширення радіохвиль на території планованої зони покриття. Відзначимо, що

при практичній реалізації системи найбільш використовуваним є рівень 3А [12]. В умовах великих міст з високим ступенем багатоповерхової забудови, значним впливом багатоповерховості при поширенні радіосигналів і високим рівнем шумів можливе використання рівня 2А, який передбачає більший ступінь захисту звукових даних. Однак такий вибір призведе до зниження ефективної швидкості цифрового потоку (табл. 1), що спричинить або зменшення кількості програм у мультиплексі із збереженням суб'єктивно високої якості звучання, або деякого погіршення суб'єктивної якості звуку, якщо кількість програм треба залишити незмінною.

Значення параметрів, що визначають підсумкове значення мінімальної медіанної напруженості поля в режимі рухомого приймання, зведено у таблиці 4.

Таблиця 4 – Вимоги до мінімальної медіанної напруженості поля для аналогового FM і цифрового DAB+ мовлення

Параметр	Значення			
	FM		DAB+	
Рівень захисту	моно	стерео	ЕЕР 2А	ЕЕР 3А
Смуга частот	87,5 – 108 МГц		174 – 230 МГц	
Необхідне відношення сигнал/шум, дБ	21,25	45,21	9,3	11,8
Коефіцієнт підсилення приймальної антени відносно диполя, дБ	– 10		– 8	
Коефіцієнт промислових шумів, дБ	2		0,5	
Мінімальна напруженість поля в місті розташування приймальної антени, дБмкВ/м	34,93	56,17	29,46	31,96
Втрати на висоту приймальної антени, дБ	9,8		12,4	
Поправочний коефіцієнт, що враховує необхідний відсоток місцеположень, дБ	0,00 (50 %)		12,8 (99 %)	
Мінімальна медіана напруженість поля в місті розташування приймальної антени для системи T-DAB+, дБмкВ/м	36,93	58,17	45,62	48,12
Мінімальна медіана напруженість поля для висоти 10 м для системи T-DAB+, дБмкВ/м	46,73	67,97	58,02	60,52

Також слід зазначити, що параметр  $E_{\min,med}$  не враховує вплив завад від інших радіомовних станцій, робочі частоти яких близькі до частоти корисної станції. Цей вплив враховується за допомогою параметра захисного відношення за радіочастотою, яке, в свою чергу, визначатиме значення використовуваної напруженості поля  $E_{\text{вук}}$  на границі зони обслуговування.

Якщо порівнювати значення захисних відношень  $A$ , необхідних при плануванні служб аналогового FM і цифрового DAB+ мовлення, на підставі даних документів [3] і [7] бачимо, що DAB+ вимагає менші значення захисного відношення за РЧ (наприклад, у разі роботи в суміщеному частотному каналі  $A_{FM} = 45$  дБ і  $A_{DAB+} = 12$  дБ), що призведе і до менших вислідних значень  $E_{\text{вук}}$  у разі присутності завадних станцій, і до меншого ступеня можливого скорочення площі зони обслуговування.

#### 4 ВИСНОВОК

У статті виконано розрахунок необхідних значень мінімальної медіанної напруженості поля як для аналогового FM приймання, так і цифрового DAB+. Ці значення було визначено на основі результатів сучасних досліджень щодо визначення можливих рівнів шумів на вході приймача, розрахунку поправок, що враховують умови приймання та щільність забудови обслуговуваної території.

Окрім уточнення вимог до мінімальної медіанної напруженості поля у різних навколишніх умовах метою роботи було і порівняння значень параметрів планування для аналогового і цифрового мовлення. Таке порівняння є досить актуальним завданням з метою прогнозування того, чи буде покриття цифровим мовленням поступатися покриттю аналоговими програмами, і наскільки критичними можуть бути втрати у площі покриття з огляду на те, що частина аудиторії залишиться без можливості приймання програм радіомовної служби.

Порівняння значень мінімальної медіанної напруженості поля, що визначають зону покриття для аналогових FM та цифрових DAB+ передавачів показує, що значення  $E_{\min med} = 60,52$  дБмкВ/м для найбільш поширеного режиму 3A в системі цифрового мовлення DAB+ менше мінімальної медіанної напруженості поля для стереорежиму аналогового FM мовлення:  $E_{\min med} = 67,97$  дБмкВ/м. У той же час, за відсутності відчутних нелінійних спотворень для монофонічного звучання, воно оцінюється слухачами як таке, що має достатню якість, і відповідне  $E_{\min med} = 46,73$  дБмкВ/м. Це значення є суттєво нижчим відповідного значення для цифрового мовлення DAB+. Крім того, аналогове FM мовлення використовує нижчу смугу частот, що забезпечує кращі умови поширення радіохвиль та відповідно збільшує зону покриття. Отже, при порівнянні покриття аналоговим і цифровим мовленням необхідно враховувати, що значна частина слухачів на границі зони покриття приймає моносигнал з достатньою якістю, а отже, слід орієнтуватися на параметри планування для монорежиму FM мовлення. Таким чином, у разі можливого переходу від аналогового на цифрове мовлення для досягнення однакового покриття при розгортанні мережі DAB+ може потребуватись встановлення додаткових передавачів, для того щоб не зменшилося охоплення послугами звукового радіомовлення.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Інформація по країнах. Електронне видання, режим доступу: <https://www.worlddab.org/country-information>.
2. ETSI EN 300 401 v2.1.1. Системи радіомовлення; Цифрове звукове радіомовлення (DAB) для рухомих, портативних та фіксованих приймачів // ETSI. – 2017. – 124 с.
3. Рекомендація ITU-R BS.412-9. Стандарти планування для наземного звукового FM радіомовлення в смузі ДВЧ // ITU-R. – 1998. – 27 с.
4. EBU TR 021. Технічні основи планування мережі T-DAB та сумісність із існуючими радіомовними службами // EBU, – 2013. – 201 с.
5. Рекомендація ITU-R BS.1660-7. Технічна основа для планування наземного цифрового звукового радіомовлення у смузі ДВЧ // ITU-R. – 2015. – 65 с.
6. EBU Tech 3391. Настанови для планування мереж DAB // EBU. – 2018. – 151 с.
7. Рекомендація ITU-R P.1546-5. Метод прогнозування для трас зв'язку «пункту з зоною» для наземних служб в діапазоні частот від 30 МГц до 3000 МГц // ITU-R. – 2013. – 59 с.
8. Локшин М.Г. Мережі телевізійного та звукового ДВЧ ЧМ мовлення: Довідник / М.Г. Локшин, А.А. Шур, А.В. Кокорев, Р.А. Краснощёков. – М.: Радіо та зв'язок. – 1988. – 144 с.
9. Рекомендація ITU-R BS.704-0. Характеристики еталонних FM приймачів звукового радіомовлення для процесу планування // ITU-R. – 1990. – 6 с.
10. Дослідження FM приймачів // Swiss Federal Office of Communications. – 2004. – 68 с.
11. Прогнозування охоплення службами FM радіо // Ofcom. – 2010. – 40 с.
12. Sabel L. Огляд системи DAB+ System / Les Sabel // World DMB Technical Committee. – 2013. – 46 с.



REFERENCES

1. Country Information. Electronic edition, access mode: <https://www.worlddab.org/country-information>.
2. ETSI EN 300 401 v2.1.1. Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers // ETSI, – 2017 – 124 с.
3. Recommendation ITU-R BS.412-9. Planning standards for terrestrial FM sound broadcasting at VHF // ITU-R, – 1998 – 27 с.
4. EBU TR 021. Technical bases for t-dab services network planning and compatibility with existing broadcasting services // EBU, – 2013 – 201 с.
5. Recommendation ITU-R BS.1660-7. Technical basis for planning of terrestrial digital sound broadcasting in the VHF band// ITU-R, – 2015 – 65 с.
6. EBU Tech 3391. Guidelines for DAB network planning // EBU, – 2018 – 151 с.
7. Recommendation ITU-R P.1546-5. Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz// ITU-R, – 2013 – 59 с.
8. Lokshin M.G. Television and sound VHF FM broadcast networks: Guidelines / M.G. Lokshin, A.A. Shur, A.V. Kokorev, R.A. Krasnoshchekov. – M. : Radio and communication.– 1988. – 144 с.
9. Recommendation ITU-R BS.704-0. Characteristics of FM sound broadcasting reference receivers for planning purposes // ITU-R, – 1990 – 6 с.
10. FM Receiver study // Swiss Federal Office of Communications, – 2004 – 68 с.
11. Prediction of the „useable“ coverage of FM radio services // Ofcom, – 2010 – 40 с.
12. Sabel L. Overview of the DAB+ System / Les Sabel // World DMB Technical Committee, – 2013 – 46 с.